— Études marines —

FONDS MARINS

N°22 – Octobre 2022
Centre d'études stratégiques de la Marine

— Études marines —

Directeur de la publication
Contre-amiral Marc-Antoine Lefebvre de Saint Germain

Rédacteur en chef
Cyrille P. Coutansais

Centre d'études stratégiques de la Marine (CESM)
Case 08- 1, place Joffre-75700 Paris SP 07
01 44 42 82 13- cesm.editions.fct@intradef.gouv.fr

— Études marines —

FONDS MARINS

N°22 – Octobre 2022
Centre d'études stratégiques de la Marine

SOMMAIRE

PRÉFACE

Denis ROBIN,
Secrétaire général de la mer

Les grands fonds marins : quel cap fixé par l'État ?

Par définition, les grands fonds marins sont les endroits où la profondeur dépasse 200 mètres. Ils représentent environ les deux tiers de la surface de notre planète, mais ils sont un milieu très hostile pour l'homme : l'obscurité y est totale, la température est froide en dehors des zones volcaniques, la pression colossale y induit des contraintes mécaniques très fortes, et la nourriture y est rare.

En raison des difficultés pour y accéder, les grands fonds marins sont très mal connusz on estime qu'environ 20% sont cartographiés à moyenne résolution, et seulement quelques pourcents à haute résolution.

Toutefois, on sait depuis plusieurs dizaines d'années que ces grands fonds recèlent des ressources minérales importantes, notamment en métaux rares : cobalt, manganèse, nickel, cuivre… Mais ces ressources, dont la composition et l'étendue exactes ne sont pas connues, restent très difficiles à exploiter : ce n'est que depuis peu que les technologies permettent de l'envisager. Plusieurs projets prévoient dans les prochaines années de tester la faisabilité de cette extraction en mettant en œuvre des prototypes. Au-delà de la question de la faisabilité, la rentabilité de cette exploitation est beaucoup plus hypothétique : ces opérations, qui se déroulent en haute mer, souvent assez loin des côtes, sont très onéreuses. Les risques économiques sont considérables.

En parallèle, la poursuite des explorations scientifiques a mis en évidence, plus récemment, que les grands fonds marins, que l'on pensait déserts en raison de la rareté de la nourriture comme de l'énergie, recèlent en réalité de nombreuses formes de vie, autour des « oasis » que sont les zones hydrothermales, mais aussi partout ailleurs. Cette découverte impose un changement d'approche assez radical : d'une part, cette diversité biologique constitue une autre ressource en soi, qu'il est essentiel de mieux connaître. En effet, comprendre les mécanismes qui permettent à des espèces de vivre dans les conditions extrêmes des grands fonds permettra certainement de faire progresser la recherche scientifique dans de nombreux domaines, à commencer par la médecine et la pharmacologie. Les initiatives qui se développent autour du biomimétisme, qui s'inspirent des solutions de la nature pour adapter nos techniques ou nos pratiques sociales, attendent beaucoup de ces observations. D'autre part, la présence de biodiversité dans ces zones pose la question de l'impact que pourrait avoir une activité extractive sur ce milieu. Notre vision est encore assez parcellaire, mais les études menées lors de différents essais semblent montrer que la vie dans les zones exploitées serait sévèrement et durablement affectée. Dans un milieu où l'énergie ou la nourriture sont rares, les dynamiques très lentes accentuent la fragilité des écosystèmes. Celle-ci impose de prendre des précautions importantes, d'autant plus que les interactions des grands fonds avec le reste de la planète sont encore mal connues, tant sur le plan biologique que climatique.

Ces constats ont de quoi troubler le citoyen et interroger sur la direction à emprunter, et conduisent parfois à des injonctions quasi-contradictoires : d'un côté, la fascination pour les grands fonds et l'attachement à la préservation de leur intégrité, et de l'autre, la conscience de la rareté des ressources qui s'y trouvent et de l'atout stratégique que représenterait leur exploitation.

Cette double approche est partagée au niveau mondial et l'on constate chez toutes les puissances maritimes un renforcement des développements technologiques et des programmes d'explorations, dans les eaux sous leur juridiction comme dans les eaux internationales, dont les fonds sont placés sous la juridiction de l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM). Certaines zones font d'ailleurs l'objet de demandes en vue d'une exploitation. Dans le même temps, notamment sous la pression d'ONG, la prise de conscience de la fragilité de ce milieu et de la nécessité de le protéger s'accélère et se diffuse.

Quelle stratégie doit alors adopter la France ? Le gouvernement a identifié la nécessité de fixer un point d'équilibre entre toutes ces priorités, en tenant compte des atouts et handicaps du pays : la France est l'un des pays pionniers de l'exploration des océans. Sa production scientifique, qui repose sur l'Ifremer, le CNRS et les universités, est reconnue. Ces organismes sont soutenus par une flotte scientifique qui a été récemment fédérée en une unique Flotte Océanographique Française (FOF) labellisée très grande infrastructure de recherche (TGIR). La France fait partie du club très fermé de ceux qui disposent d'une capacité de plongée habitée à grande profondeur, avec le Nautile. Elle possède des capacités technologiques et industrielles à concevoir et produire les différents types d'engins nécessaires à l'exploration des grands fonds marins. En revanche, elle est moins bien positionnée dans le domaine de l'exploitation de ces grands fonds marins, d'autant plus que l'instauration d'un moratoire sur l'exploitation gazière ou pétrolière dans les eaux sous sa juridiction a pu freiner l'intérêt de certains industriels pour ces activités.

Une première stratégie, adoptée en 2015 et axée sur les ressources minérales, n'a pas eu de suite, faute d'actions et de pilotes clairement identifiés. C'est pourquoi, en 2019, le Premier ministre a demandé au Secrétaire général de la mer (SGMer) d'élaborer une nouvelle stratégie, en veillant à lui donner une portée opérationnelle. Une large consultation a alors été conduite, associant administrations, établissements publics de recherche, acteurs de la protection de l'environnement marin et représentants du secteur économique. Elle a abouti à l'adoption en 2020 d'une nouvelle « Stratégie nationale d'exploration et d'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins », dotée d'actions et pilotes clairement désignés.

La focalisation de cette stratégie sur les ressources minérales a pu laisser penser à certains acteurs associatifs qu'elle ne visait qu'à préparer une exploitation des grands fonds marins à court terme, l'exploration n'étant qu'un prétexte pour préparer l'extraction minière. Cette impression n'était pourtant pas justifiée : d'un commun accord entre scientifiques, industriels et État, la stratégie des ressources minérales des grands fonds marins posait clairement le principe que toute exploitation doit obligatoirement être précédée d'une longue phase d'acquisition de connaissances, afin d'évaluer les impacts potentiels, et ne pourrait être envisagée que s'il était démontré au préalable que ces impacts seront suffisamment faibles pour être acceptables.

En octobre 2021, le Président de la République a rappelé que la France détient la deuxième Zone Économique Exclusive mondiale et inscrit l'exploration des grands fonds marins comme objectif n°10 du programme France 2030, avec un double but, d'une part accroître sensiblement notre connaissance scientifique de ces fonds, notamment dans les eaux sous juridiction française, et d'autre part consolider et développer ce secteur de l'industrie française. Ce geste inédit apporte le pilier industriel qui manquait jusqu'alors et constitue une impulsion politique majeure, assortie de moyens conséquents. Cette impulsion a été l'occasion de recentrer la stratégie globale, qui couvre désormais l'ensemble des aspects, et non plus les seules ressources minérales : biologie, mais aussi étude des courants, climatologie… Surtout, la connaissance scientifique est maintenant clairement placée au cœur de la stratégie nationale française. L'investissement financier conséquent porte, comme dans tous les domaines, l'espoir d'une valorisation. Mais la connaissance scientifique elle-même est, par essence, une ressource valorisable qui peut et doit être exploitée.

Enfin, en juin 2022, lors de la Conférence des Nations Unies sur les Océans de Lisbonne, le Président de la République a affiché la volonté de la France d'œuvrer en faveur de l'adoption internationale d'un cadre juridique de protection environnementale des plus exigeants, qui doit permettre d'interdire les projets susceptibles d'avoir des effets irrémédiables sur l'environnement et les écosystèmes marins. La France porte cette position au sein de l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM), organisme en charge d'établir le cadre multilatéral régissant les fonds marins dans la Zone. Cette prise de position parachève la réorientation de la stratégie française.

La France dispose désormais d'une stratégie globale, validée au plus haut niveau et dotée des moyens permettant sa mise en œuvre. La connaissance scientifique est au cœur de cette stratégie, à la fois comme ressource valorisable par elle-même et comme préalable indispensable à une éventuelle exploitation ultérieure, à moyen ou long terme, qui ne pourra se faire que si l'impact environnemental de cette dernière est jugé suffisamment faible pour être acceptable.

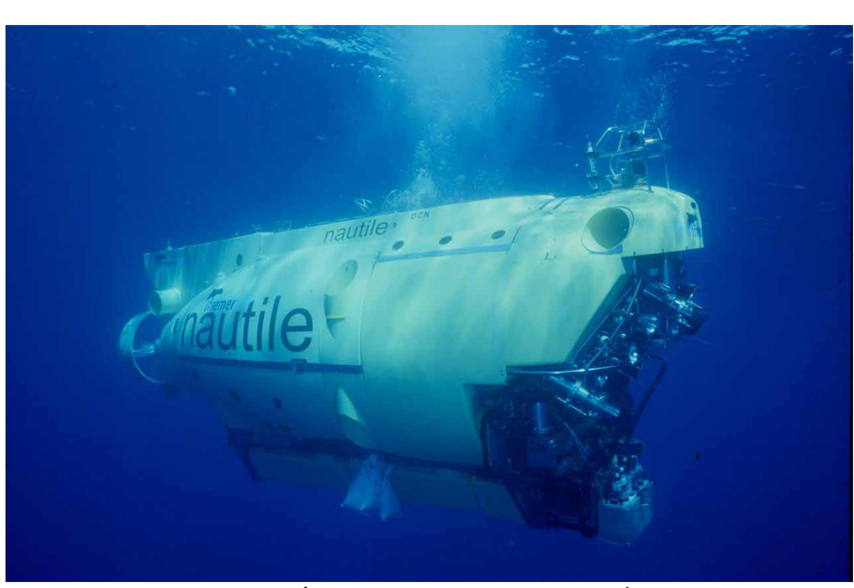
Grâce notamment aux territoires d'outre-mer, la superficie de grands fonds marins, et donc les ressources placées sous la juridiction française sont considérables. De telles ressources susciteront nécessairement des convoitises et, comme tous les intérêts français, devront être protégées et défendues.

C'est le rôle des Armées, et en particulier de la Marine Nationale. Consciente de cet enjeu, qui concerne aussi bien les ressources des grands fonds marins que les câbles - de communication ou de transport d'énergie - qui y transitent et qui représentent déjà aujourd'hui une infrastructure stratégique, la Marine a amorcé la reconquête de ce domaine. En effet, l'obscurité est propice à la dissimulation et permet des actions hybrides qui menacent nos intérêts. La compétition entre puissances maritimes s'y exerce pleinement. Le Ministère des Armées a ainsi publié début 2022 sa stratégie de maîtrise des fonds marins. Dans ce domaine comme dans tous les autres, les Armées doivent connaître, détecter les menaces et être capables d'agir si nécessaire. Elles ont pour cela besoin de matériels performants. Pour pouvoir agir en toute souveraineté, ces matériels doivent pouvoir être fournis par des industriels français voire européens au meilleur niveau mondial. Les capacités nécessaires étant, pour la plupart, assez similaires à celles utilisées pour l'exploration scientifique, les volets civil et militaire de la stratégie nationale concernant les grands fonds marins présentent des synergies fortes.

En bâtissant une stratégie centrée sur la connaissance scientifique, et en refusant de s'engager dans une exploitation dont les conséquences ne seraient pas maîtrisées, la France a fait le choix de préserver le trésor que constituent les grands fonds marins placés sous sa juridiction. Il reviendra à la Marine nationale de surveiller et défendre ce trésor. Le défi est difficile, mais la Marine saura étendre à ce nouveau champ d'action maritime l'efficacité dont elle fait preuve depuis des siècles sur et sous les mers.



L'*Atalante* - campagne à la mer - ESSROV18
©www.ifremer.fr



Le Nautile - vue sous-marine - campagne Nautimil
©www.ifremer.fr

À la découverte des grands fonds océaniques

Capitaine de frégate (h) Patrick GEISTDOERFER
Membre de l'Académie de marine
Directeur de recherche au CNRS (h) – océanographe

« *La masse, immense d'étendue, énorme de profondeur, qui couvre la plus grande partie du globe, semble un monde de ténèbres.* »

J. Michelet, "La mer", 1860

Bien qu'une connaissance des mers et de leurs habitants se fait jour dès le XVIIème siècle, celui des Lumières, avec L'Encyclopédie qui leur consacre de nombreux articles, et l'Académie de Marine, créée en 1752, qui contribue également à la connaissance des mers, ce n'est qu'au milieu du XIXème siècle, grâce aux observations des navigateurs et aux grands voyages d'exploration, que la circulation océanique superficielle commence à être documentée. En revanche, la connaissance de la masse d'eau située sous la surface est sommaire et se limite aux quelques dizaines de mètres de profondeur au voisinage des côtes, essentiellement grâce à la pêche. En haute mer, les sondages montrent que les profondeurs sont importantes voire inaccessibles avec les techniques disponibles à cette époque. Cependant, c'est également au milieu de ce siècle que l'intérêt pour la topographie du fond se manifeste, en raison du début de la pose des câbles sous-marins entre l'Europe et l'Amérique du Nord dans un premier temps, puis entre d'autres continents, ce qui nécessite une connaissance du relief, des profondeurs et de la nature des fonds océaniques, roches ou sédiments, ce qui devient possible grâce aux progrès des techniques et des constructions navales, en particulier la propulsion à vapeur. En France et en Grande-Bretagne, les marines de guerre sont parties prenantes de l'exploration du globe, comme de nos jours de la recherche océanographique.

C'est à cette même époque, en 1844, que le biologiste britannique Edward Forbes effectuant des dragages en mer Egée, soutient que les grandes profondeurs, au-delà de 600 mètres, froides et obscures, sont « azoïques », sans vie, celle-ci ne pouvant exister en raison des pressions considérables qui y règnent. Cependant, déjà, des animaux ont été récoltés ou remontés de plusieurs centaines de mètres de profondeur, notamment plusieurs espèces de poissons et crustacés récoltés par les pêcheurs locaux au large de la Côte d'Azur dont la description est publiée, en 1810, par le pharmacien niçois Antoine Risso, un corail et des mollusques fixés sur un câble sous-marin remontés en 1860 de 2180 mètres en Méditerranée et décrits par le Français Henri Milne-Edwards, ou plusieurs dizaines d'espèces profondes récoltées à plus de 850 mètres dans les mers scandinaves à partir de 1850 par les Norvégiens Sars, père et fils, révélant l'existence d'une vie abondante. La vie existe bien dans les grandes profondeurs.

C'est pour combattre, preuves à l'appui, les idées misérabilistes du « zéro de vie animale » de Forbes et étudier la nature des grandes profondeurs océaniques, que l'Anglais Charles Wyville Thompson s'attaque à ce sujet. A partir de 1868, avec William B. Carpenter, il effectue des dragages jusqu'à 1 200 mètres de profondeur à bord du *Lightning*, "petit navire passé depuis longtemps à l'état de sabot, [...] peut-être le plus vieux bateau à roues de Sa Majesté". En 1869, à bord de la canonnière *Porcupine*, il

drague jusqu'à 4 550 mètres de profondeur. Toutes les récoltes confirment que la vie en profondeur est abondante et variée, et que les organismes des profondeurs sont différents de ceux des eaux superficielles. « *Le lit de la profonde mer, écrit, en 1874, C. Wyville Thomson, les 140 000 000 de milles carrés que nous venons d'ajouter au légitime champ d'étude des naturalistes ne constituent pas un désert stérile. Il est peuplé d'une faune plus riche et plus variée que celle qui pullule dans la zone bien connue des bas-fonds qui bordent la mer ; ces organismes sont encore plus finement et plus délicatement construits, d'une beauté plus exquise, avec les nuances adoucies de leurs coloris et les teintes irisées de leur merveilleuse phosphorescence* », écrit C. Wyville Thomson en 1874.

On découvre également que les eaux profondes sont froides, -2°C à +2°C, alors que l'on pensait jusque-là que la température des grands fonds était uniforme et égale à 4°C (densité maximum de l'eau douce). Wyville Thompson écrit le premier ouvrage d'océanographie traitant des grandes profondeurs "The Depths of the Seas" (1874), traduit en français sous le titre "*Les abîmes de la mer*". Il comprend également comment se forment en surface, aux hautes latitudes, les eaux froides qui vont constituer les eaux des profondeurs de l'océan mondial. Enfin, les observations font conclure à l'existence de courants profonds ; il écrit "*un courant froid parti des mers polaires passe sur le fond de l'Atlantique. [...] Courant froid d'une grande lenteur*". Les différences de température et de faune constatées en profondeur entre les eaux à 60° nord et au sud de 50°N suggèrent même l'existence d'une ride immergée, un seuil, allant du Groenland aux îles Féroé séparant la mer de Norvège du nord de l'océan Atlantique. Son existence est confirmée, en 1880, par les sondages de la *Porcupine*. Il s'appelle désormais le Seuil de Wyville Thomson.

Puis Wyville Thomson organise la campagne océanographique autour du monde de la corvette de la Royal Navy Challenger, de décembre 1872 à mai 1876. Cette campagne de 58 890 milles (plus de 100 000 km) met en évidence qu'il y un Océan mondial unique, que les grandes profondeurs sont froides, animées de courants, que la composition en sels de l'eau de mer est la même partout bien que la masse totale de ces sels puisse être variable, loi dite de Dittmar (observation déjà mise en évidence par le Français Marcet, en 1819, et l'Américain Maury, en 1855), que les sédiments qui recouvrent les plaines abyssales sont variés et permet la découverte dans le Pacifique près des îles Mariannes, d'une profondeur de 8 180 mètres. Cette campagne établit définitivement que la vie existe jusqu'à son plus haut niveau d'organisation dans les plus grandes profondeurs (des pêches sont exécutées jusqu'à 5 200 m), et que les genres et espèces profonds sont différents de ceux des eaux superficielles. La campagne du Challenger qui fournit une énorme moisson de données, est considérée comme l'acte de naissance de l'océanographie, science complexe qui étudie l'océan pour comprendre les mécanismes qui l'animent dans toute son étendue et sa profondeur, et la vie qui

y est présente. Ces données publiées dans la cinquantaine de volumes des *Report on the scientific results of the voyage of HMS Challenger during the year*s 1873-1876, constituent le fondement de nos connaissances sur les océans.

Les Français effectuent à leur tour, de 1880 à 1885, des campagnes de recherches dans l'Atlantique nord, du golfe de Gascogne à Madère, et en Méditerranée, à l'initiative du professeur au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris Alphonse Milne-Edward, à bord des deux bâtiments de la Marine nationale, le *Travailleur,* petit bâtiment de guerre à roues et le *Talisman*, éclaireur d'escadre aménagé en vue de l'exploration sous-marine. Ces campagnes récoltent un très grand nombre d'organismes, et mettent en évidence, au milieu de l'océan Atlantique, une chaîne de montagne nord-sud, partie atlantique de la dorsale médio-océanique qui connaîtra la célébrité lorsque les océanographes américains montrent dans les années 1960 que c'est le lieu de formation du plancher de l'océan Atlantique. Lors d'un sondage, une profondeur de 6 250 mètres est découverte. Tous les animaux récoltés sont décrits, et figurent depuis dans les collections du Muséum. "*Les collections faites pendant les campagnes du Travailleur et du Talisman, sont exposées dans une des salles du Muséum d'Histoire naturelle où tous ceux qui s'intéressent au progrès des connaissances humaines pourront voir réunis les animaux qui peuplent les profondeurs de la mer*" écrit, en 1884, A. Milne-Edward.

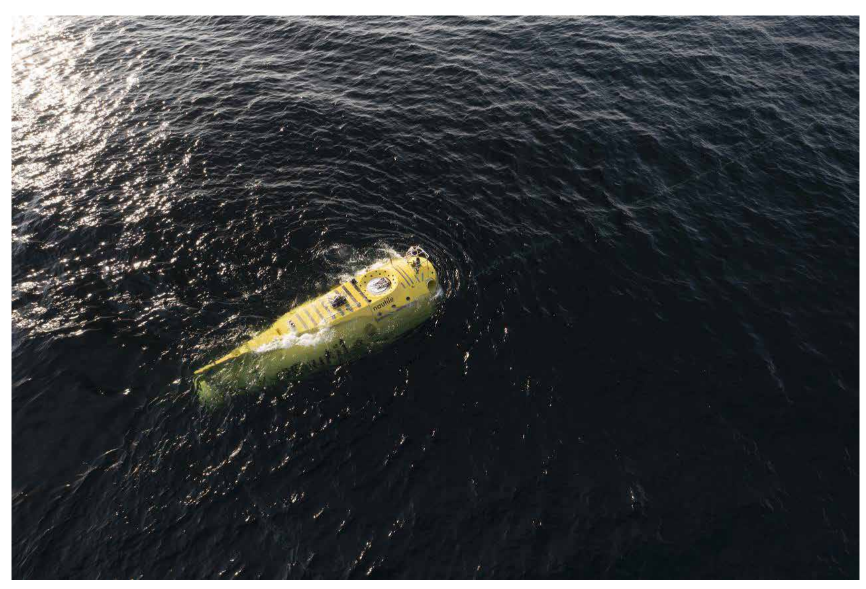
John Murray, collaborateur de Wyville Thomson, participe à des campagnes océanographiques à bord du *Michael Sars*. En 1912, avec Johan Hjort, il publie un ouvrage qui relate ces campagnes en Atlantique nord, entre 1900 et 1910, et fait l'état des connaissances de l'époque sur les océans, The Depths of the Oceans. Y figure notamment une carte du fond des océans établie à partir de 5 969 sondages. La plus grande profondeur connue alors a été trouvée dans le Pacifique, à 9 636 mètres. La distribution des animaux est analysée, ainsi que leurs adaptations à la vie dans les grandes profondeurs.

Les campagnes océanographiques vont alors se multiplier, en Allemagne avec le *Valdivia* (1899), aux Pays-Bas avec le *Sigoba* (1900). L'américain Alexander Agassiz, en 1888, explore les profondeurs de l'Atlantique nord à bord du *Blake* et de l'*Albatros.* Le prince Albert Ier de Monaco met ses yachts l'*Hirondelle* (1885-1889), la *Princesse Alice* (1891-1897) et la *Princesse Alice II* (1898-1915), au service des scientifiques, pour des campagnes de recherche océanographique en Méditerranée et dans l'Atlantique nord. Entre les deux guerres, à la différence d'autres nations (Grande Bretagne, Etats-Unis, Allemagne, Danemark), la France est pratiquement absente de la recherche océanographique, à l'exception des campagnes du Service hydrographique de la marine, de celles de l'Institut scientifique et technique des pêches maritimes avec son navire *Président Théodore Tissier*, du *Pourquoi pas ?* de Jean Charcot, et des stations marines de la faculté des Sciences de Paris. Après la Seconde Guerre mondiale, les recherches

orientées vers les grandes profondeurs se multiplient aux Etats-Unis avec L'*Atlantis,* en Suède avec l'*Albatross* (1947-1948), au Danemark avec la *Galathea* (1950-1952), en Union soviétique avec le *Vitiaz*, et au cours de l'« Expédition internationale de l'Océan Indien » entre 1959 et 1965 avec le Ct *Robert Giraud* …. En France, en 1967, le CNRS crée une section d'océanographie, et le Centre national pour l'exploration des océans est fondé. Un grand navire océanographique est lancé, le *Jean Charco*t, en 1965 – le second après la *Thalassa* de l'Institut scientifique et technique des pêches maritimes lancé en 1962 –, à bord duquel en 1969 les Français effectuent la campagne "Noratlante" dans l'Atlantique nord, puis les campagnes « MEDOC » en Méditerranée nord-ouest afin d'étudier la formation de l'eau de fond dans cette mer. C'est la renaissance d'une océanographie française en haute mer, orientée vers les grands fonds.

Les années 1960 correspondent à une profonde révision de notre conception de l'évolution des océans au cours de l'histoire de la Terre. La théorie de l'expansion des fonds océaniques, née aux Etats-Unis, s'impose définitivement, redonnant une nouvelle vie à la théorie de la dérive des continents élaborée au début du siècle par le météorologiste allemand Alfred Wegener. À la fin des années 1980, sont découvertes sur le sommet des dorsales médio-océaniques des sources hydrothermales auxquelles sont associées des communautés animales dont l'existence révèle une nouvelle forme de vie indépendante de l'énergie solaire. Avec une instrumentation dominée par l'électronique et l'informatique, l'océanographe du début du XXIème siècle visite les grands fonds et observe la surface de la mer de l'espace, le premier satellite océanographique *Topex-Poseïdon* ayant été lancé en 1992. Ce sont les débuts de l'océanographie quantitative et de la modélisation numérique : il ne s'agit plus seulement de comprendre mais aussi de prévoir avec le programme français Mercator.

Par ailleurs, depuis les années 1950, grâce aux submersibles habités, les scientifiques pénètrent réellement dans les « abysses » ; ils voient le fond de la mer, le photographient, le filment, y prélèvent sédiments, roches et animaux, y font des mesures, y expérimentent. Ce sont d'abord les lourds bathyscaphes, difficiles d'emploi, comme le *FNRS III* (1950), l'*Archimède* français (1961), armé par la Marine nationale avec le soutien du CNRS, qui sont remplacés par des submersibles plus maniables et plus légers : l'*Alvin* américain (1964), la *Cyana* française (1970) à laquelle succède le *Nautile* (1985) qui descend à 6 000 m, les deux Mir soviétiques, les *Shinkai* 2 000 et 6 500 japonais (1993) ou le *Jiaolong* chinois (2010). Des systèmes automatiques remorqués de prises de vue sous-marines sont mis au point et complètent les moyens de l'océanographie. Pour la première fois, l'homme voit les laves qui sont montées au niveau de l'axe des dorsales pour constituer le nouveau fond de l'océan, "*ces roches primordiales qui n'ont jamais connu la lumière des cieux*"(Jules Verne).



Le *Nautile* - vue aérienne - campagne GHASS2
©www.ifremer.fr.

Stratégie

Amiral (2s) Alain OUDOT DE DAINVILLE,
Ancien chef d'état-major de la marine (2005-2008), membre de l'Académie de Marine

Grands fonds, à fond et en grand !

Le 14 juillet 2021, à l'occasion de la fête nationale, le Président Emmanuel Macron consacrait l'introduction dans les armées françaises de la notion de domaine de lutte des fonds marins (*Seabed Warfare*), déclarant que les armées avaient « vu de nouveaux espaces de conflictualité apparaître ». En mai 2021, sa Ministre des armées, Florence Parly, avait souligné l'importance d'« investir dans ce nouveau domaine que sont les grands fonds marins, les abysses ». Le 14 février 2022, elle définissait la stratégie ministérielle de maîtrise des fonds marins, nouvel espace de rapport de forces. Comme l'ont compris les acteurs dominants de la mondialisation, le besoin de contrôler les ressources et les flux matériels et immatériels est une des clefs des nouvelles stratégies de puissances.

Par grands fonds on entend tout le volume marin au-delà du plateau continental, qui pour 97% ne dépasse pas 6000 m de profondeur. Tant que le monde sous-marin n'ouvrait pas de perspective de rentabilité, il n'intéressait que le professeur Tournesol. Les nouvelles perspectives de l'économie maritime qui englobe un vaste champ d'activités, dans l'alimentaire, l'énergie, l'industrie, les services, la médecine, les minerais et l'interconnexion, attisent les convoitises. Elles ouvrent de nouvelles obligations de défense, incontournables dans le pays détenteur du deuxième espace maritime du monde. Cette nouvelle perception spatiale entraîne une transformation historique importante pour l'humanité. Comme Christophe Colomb n'avait pas attendu Copernic, les forces et les puissances qui font l'histoire des abysses n'attendent pas la science. Aux scientifiques d'expliquer les 95 % de cet empire méconnu, aux marins de les défendre dès à présent. Cette évolution stratégique perturbe la communauté traditionnelle de la Défense, comme les milliers de caravaniers qui transportaient les épices avaient en leur temps été dérangés quand Magellan avait ouvert la voie maritime des Indes.

Comment se prémunir de la conflictualité dans cet espace

Nouvel espace, nouveau domaine de lutte. Tout comme l'air se distingue de l'espace, le monde sous-marin se différencie de celui des grands fonds, où se déroulent des opérations vers, à partir de, et sur les fonds marins. L'enjeu de cette nouvelle conflictualité est la maîtrise du fond de la mer et de sa colonne d'eau. Par bien des côtés elle est assimilable à une nouvelle forme de guerre de côtes, ou énoncé différemment une nouvelle lutte de la mer contre la terre. Dans la guerre navale traditionnelle, elle est horizontale car elle suit la surface, dans celle des abysses elle est verticale pour toucher le fond. Ce domaine de lutte n'est pas réservé à un nombre limité de puissances, car

il est aujourd'hui accessible à un grand nombre d'acteurs grâce à l'arrivée de moyens autonomes.

Contrairement à la guerre sur terre qui s'inscrit dans une confrontation armée entre Etats ou assimilés, la guerre sur mer s'attaque au commerce et à l'économie. La guerre d'Ukraine le confirme, sur le terrain les armées s'affrontent, en mer Noire le blocus veut faire plier l'économie. Au fond des océans, le « Seabed warfare » respecte cette logique.

Ce domaine est stratégique, contrairement aux luttes anti sous-marine ou anti aérienne plus tactiques. L'enrichir réclame de définir une stratégie globale et duale dont le bras armé est aéronaval. Le principe d'économie des forces, impose de le fonder sur la complémentarité des moyens à usage civil et militaire, d'intervention ou d'exploration dans les grands fonds. Les tactiques différeront de celles du milieu terrestre, faute d'opportunité de valoriser le terrain pour contraindre l'ennemi à emprunter un chemin particulier, et par l'obligation d'accéder aux fonds par la surface de la mer.

Apprendre à connaître, surveiller et protéger les fonds marins, pour dissuader les adversaires

La première nécessité consiste à affiner la connaissance de l'environnement et des fonds marins (données bathymétriques, gravimétriques, magnétométriques, etc) pour alimenter les bases de données, et faciliter les opérations dans ces espaces, mais aussi pour connaître les zones sensibles pour l'environnement, la teneur de la colonne d'eau, les champs de nodules, les encroûtements, les gisements et les différentes richesses.

L'exploration des grands fonds a démarré dès 1934 par les expériences de l'américain Beebe qui atteint 907 m de profondeur. Elle s'est développée entre les deux guerres mondiales, notamment en France et aux Etats-Unis, jusqu'à l'exploration du « plancher » du monde en 1960 par la marine américaine. La marine nationale a armé ou prêté son concours aux plongées habitées de bathyscaphes, notamment avec l'*Archimède* jusqu'en 1974 aujourd'hui exposé à la cité de la mer de Cherbourg. La voie était tracée, mais beaucoup reste à faire. Le Comité interministériel de la mer pousse maintenant à unir les efforts des différents acteurs nationaux pour relancer des missions d'exploration des grands fonds marins,

La surveillance est la conséquence de l'exploration, une fois établi le lien naturel entre intérêt économique et protection de ces zones pour éviter qu'elles ne soient pillées ou que des exactions ou des exploitations sauvages ne s'y déroulent, au mépris de l'environnement.

Surveiller n'a de sens qu'avec la possibilité d'intervenir, l'essentiel se faisant à partir de la surface. L'effort portera sur la surveillance des ZEE, par les moyens aéronavals traditionnels ou améliorés. Tout comme la montée du terrorisme a poussé à accroître la surveillance du territoire, le taux de présence dans les ZEE doit être accru, à condition d'en avoir les moyens, pour soutenir la juste ambition de contrôler les ressources de ses fonds et d'éloigner les prédateurs. Comme « l'intensité » dont on qualifie le combat, la priorité doit être « très haute ».

La guerre des câbles

Une attention toute particulière doit être apportée à la surveillance des câbles, car la conflictualité des grands fonds touche ces « routes du fond des mers » artères de la mondialisation et colonne vertébrale de la digitalisation de l'économie, qui relient tous les continents en dehors de l'Antarctique. Le réseau de plus en plus maillé ne cesse de s'étendre car l'économie est dépendante des gigantesques flux financiers transportés par les câbles Les chiffres illustrent leur intérêt vital : 99% du trafic internet les empruntent, véhiculant 10 000 milliards de dollars chaque jour, et des informations sans prix qui attisent la convoitise. Le principal système d'échanges de la finance mondiale, la *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications* (SWIFT), dont a été privée la Russie par embargo, cherche à s'y frayer le chemin le plus court, car les micro secondes gagnées sur un transit se traduisent en millions de dollars. En 2017, en France, le Secrétariat général de la Défense et de la Sécurité nationale avait conclu un rapport en affirmant que ces câbles sous-marins pouvaient constituer de "potentielles cibles dans le jeu des puissances". Le 3 décembre 2019, le président de la République s'est exprimé en ces termes, à l'ouverture des assises de l'économie de la mer. « Une fois encore, les câbles sous-marins sont considérés comme des vecteurs de la mondialisation dans notre économie numérisée, et nécessitent d'être protégés pour assurer notre prospérité. Mais ces connexions s'établissent par des câbles sous-marins, et donc la connaissance, la protection de ces espaces, la détermination d'où les câbles sont tirés et par qui ils sont surveillés est essentielle. Je le dis pour que chacun ait ici conscience de ce que l'espace maritime représente d'éminemment stratégique aujourd'hui et de géopolitique. »

Même si le principal danger est accidentel venant des navires de pêche, des agressions volontaires ont été constatées. Il est tout à fait envisageable d'imaginer une flottille de navires à bas coût, équipés de systèmes déployés sur les grands fonds pour couper les câbles, dérivés des navires de pêches disposant de chaluts de fond. La position des câbles étant connue du grand public, une organisation, ou un État, voire un organisme privé pourraient envisager cette stratégie, qui viserait une désorganisation massive pour plusieurs mois de l'économie mondiale, en raison des ralentissements importants. Le désagrément pour les populations très dépendantes des nouvelles techniques assises sur l'Internet mondial, vecteur de fonctions vitales serait immense.

Leur protection est une préoccupation majeure pour la France comme pour les autres pays, jusqu'à leur point d'atterrage en Bretagne et en Méditerranée. Partant du principe que la prospérité se conquiert dans un climat de sécurité, il ne serait pas responsable de l'ignorer. La Cyber menace s'étend. Elle pousse à développer les parades dans le soft ware et tenter de le réglementer, mais pour être cohérent le hard ware, dont font partie les câbles, doit être protégé avec le même soin. En 1917 l'interception sur un câble sous-marin d'un télégramme, appelé télégramme Zimmerman, du nom du ministre allemand des affaires étrangères à son ambassadeur à Mexico, précipita l'entrée en guerre des Etats-Unis. Et en 2014, la Russie a pris le contrôle des infrastructures Internet en Crimée juste avant son annexion, en s'emparant d'un nœud de communication Internet à Simferopol, puis en coupant les câbles de connexion avec l'Ukraine. En 2022 pendant la guerre en Ukraine, les acteurs de la Marine nationale, en vol comme en mer, sont restés très vigilants sur l'activité russe autour des câbles sous-marins, et ont gardé un œil sur la protection des approches, avec un seul objectif, éviter d'être surpris.

Le parallèle entre la « supply chain » logistique et celle de l'information est de plus en plus pertinent. Dans le soft, œuvrent sur ces câbles des pirates informatiques sophistiqués, mais également des corsaires informatiques. Tout comme la reine d'Angleterre, Élisabeth Ier, a officiellement autorisé les pirates à piller les navires remplis de trésors de son rival Philippe II d'Espagne au XVIe siècle, au XXIe des nations arment et encouragent de plus en plus les groupes criminels et activistes avec les cyberarmes nécessaires pour nuire à leurs adversaires. Dans le hard ware, alors qu'en surface le pavillon de complaisance supplante le pavillon national, sur le fond des mers les exploitants que sont les GAFAM se substituent aux acteurs des télécommunications pour prendre le contrôle et dicter leurs volontés. La sécurisation de ce nouvel espace, véritable talon d'Achille pour les pays industrialisés, devient une priorité de « très haute intensité », pour sécuriser des intérêts vitaux qui échappent au parapluie de la dissuasion. Ils courent sur des câbles dont la protection est délicate car elle doit s'étendre sur toute sa longueur dans des zones difficiles d'accès.

Alors on peut imaginer que les câbles assurent leur propre surveillance. Des capteurs à base de fibre optique sont déjà utilisés pour surveiller les évolutions des infrastructures, comme dans le chantier de reconstruction de Notre Dame de Paris. Une expérience de détection de mouvements de vagues et d'activité sismique par des câbles sous-marins déjà installés a été conduite en mer du Nord, en utilisant un dispositif photonique qui envoie de courtes impulsions de lumière laser dans la fibre optique, capable de suivre la progression de l'onde.

Dans la concurrence, le principal atout des câbles vient de la rapidité de l'acheminement des informations. A terme, leur sécurité pourrait en devenir un autre. À la science de suivre et à la communauté internationale d'imposer des normes de pose dans ce sens.

Prendre en compte l’environnement

La conflictualité des abysses ne peut être abordé sans prendre en compte la position des Fondations ou ONG, qui défendent l’environnement, et sans occulter les motivations de rivalités soigneusement dissimulées derrière un paravent écologique. Leur énorme puissance financière donne à cette dernière catégorie une capacité de lobbying disproportionnée. L’une de ces Fondations n’a-t-elle pas acheté une île du Pacifique pour y asseoir son pouvoir, mais également 200 ONG pour assurer la promotion de ses thèses auprès de la Commission européenne. Le traitement des autres organisations requiert une stratégie adaptée. Un nécessaire dialogue constructif doit refuser les interdictions de principe, que cachent les propositions de moratoire assorti d’une durée de dizaines d’années. L’accent doit être mis sur les études d’impact. Il faut privilégier les approches fondées sur un « moratoire conditionnel», car elles sont seules capables de donner une vraie chance au développement durable authentique. Un moratoire sur l’exploration n’a pas de sens dans la mesure où il ferme la porte à une meilleure connaissance des océans, indispensable à leur protection. La défense des grands fonds est un tout, à traiter avec la certitude de ne pas endommager les écosystèmes et la biodiversité marine.

Intervenir

Pour l’action, le « Seabed warfare » nécessite de se donner les moyens de ses ambitions en privilégiant la dualité civile militaire, dans une vision de stratégie globale.

Le vaisseau du fond des mers sera le drone sous-marin de moins en moins relié à la surface et de plus en plus autonome, même si le bâtiment base n’est jamais très loin. Des progrès rapides en sont attendus, pour les rendre plus autonomes et endurants par des batteries performantes plus faciles à recharger, et pour leur procurer une meilleure charge utile, dans une complexe équation coût/performance. Leur « avionique » doit aussi progresser pour améliorer la précision du positionnement par des centrales inertielles à atomes froids sur puce, la détection par des détecteurs magnétiques à pompage optique pour la surveillance d’objets sensibles tels que les câbles sous-marins, l’efficacité de la surveillance par le recours à l’intelligence artificielle pour la recherche sur de grandes étendues. Quatre pays sont en avance, le Japon, les Etats-Unis, le Royaume Uni et la France. Leurs marines cherchent à se doter à court terme de moyens capables de descendre à 6000 mètres de profondeur.

La marine nationale va aussi être équipée de drones sous-marins qui pourront aussi naviguer au plus près de cette profondeur fatidique. La France a le tissu industriel qui lui permet de développer de telles capacités, et de s’ouvrir en bonne position à une

coopération européenne. Mais faute d'exploitation des trouvailles, l'exploration devra être subventionnée par l'argent public. "Aujourd'hui, avec les moyens techniques d'acheminement d'énergie, les drones sous-marins, l'intelligence artificielle, on peut imaginer que certains ambitionnent de contrôler le fonds des mers et mettre en péril la liberté de navigation", s'inquiète le ministère des Armées.

Les forces sous-marines s'ouvrent également au « Seabed warfare ». Des recherches sont entreprises pour adapter les sous-marins. Le SSN de la marine américaine de la classe *Virginia* block VI doit être doté d'une capacité d'utilisation d'équipements spécialisés. Le sous-marin russe *Losharik* en serait également capable, ainsi que le drone chinois HSU-001 proche du sous-marin.

Tout comme le long des côtes les pays veillent à partir des sémaphores, les réseaux d'écoute sous-marine peuvent être envisagés comme moyen d'alerte, servir à la surveillance intégrée de l'environnement marin, la prévention des catastrophes naturelles, ainsi que la défense et la sécurité nationale. Les câbles, répétons-le, eux-mêmes peuvent servir de support, tout en étant mieux protégés dans les aires de vulnérabilité.

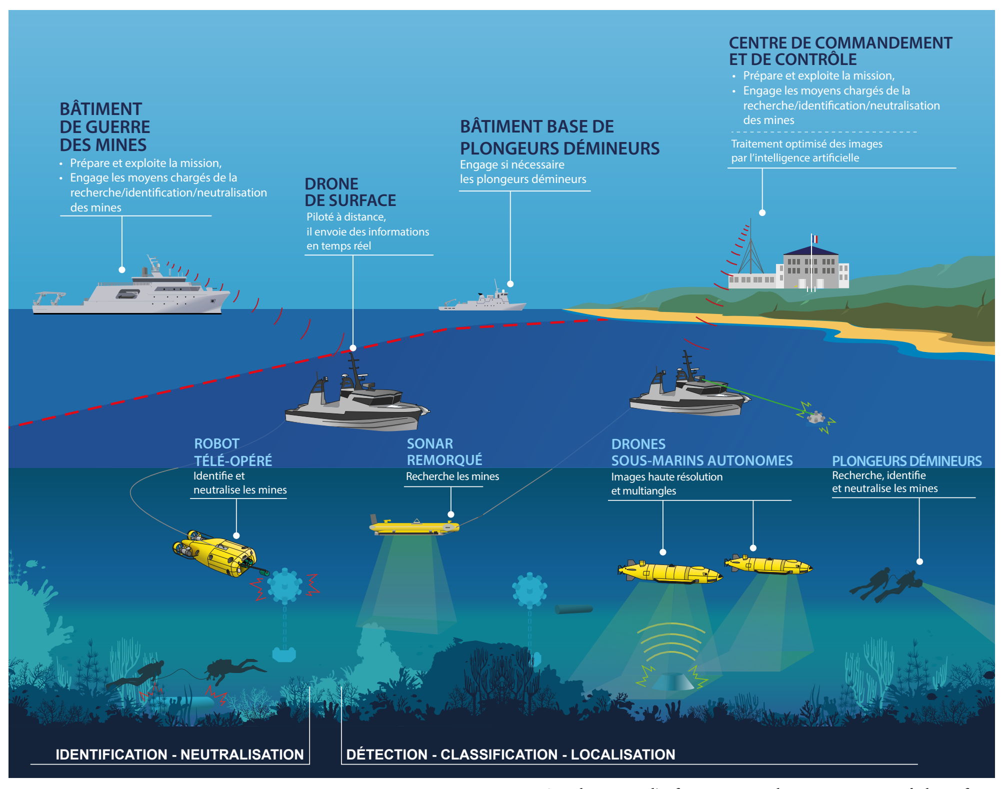
Le « lawfare » et le « Seabed warfare »

Dans cette stratégie globale un autre domaine de lutte doit être pris en compte, le « Lawfare », ou les usages stratégiques du droit. Le traité de désarmement sur le fond des mers et des océans, signé à Londres, Moscou et Washington, et entré en vigueur en 1972, bannit toutes les armes nucléaires et de destruction massive sur le fond de la mer au-delà des 12 milles nautiques sans y interdire les activités militaires. L'ONU a créé en 1994 dans le cadre de la Convention de Montego bay, donc excluant les Etats-Unis, une autorité internationale des fonds marins pour gérer, dans les eaux hors juridiction, le patrimoine commun de l'humanité. Des discussions prenant en compte l'intérêt croissant pour les fonds marins sont en cours à l'ONU, où les États cherchent à étendre leur influence, en appliquant un modèle terrestre, avec pour conséquence une remise en cause du principe de la liberté de navigation. De même que la bande côtière est, sous couvert d'eaux territoriales, soumise à la souveraineté des Etats, on pourrait imaginer le même statut près du fond des ZEE, dans la dimension verticale, ce qui permettrait une meilleure protection de cet espace.

Pour protéger les câbles, un certain nombre d'accords internationaux doivent être respectés, conventions de Paris de 1884, de Genève, SOLAS, OMI, de Montego Bay de 1982. Leur importance s'étant tellement accrue, il est temps de mettre à jour la documentation. Il serait également nécessaire d'examiner les agressions contre les câbles

sous l'angle de la Charte des Nations Unies sur le droit des conflits armés, qui récuse le droit d'infliger des souffrances injustifiées. Or parmi les informations circulant sur les câbles, certaines, notamment concernant la santé, peuvent entrer dans cette catégorie. Il convient ainsi de s'interroger sur la pertinence des théories stratégiques de John Warden, qui encouragent à détruire certaines catégories d'objectifs dont font partie les câbles, par des attaques susceptibles d'infliger des dommages inacceptables aux termes de la Charte des Nations Unies.

Ce ne sont que des pistes, pour la science, les scientifiques, les diplomates, et pour les marins. L'investissement nécessaire n'est pas anodin. Aussi tentons de le considérer comme une avance sur recette, en imaginant la fiscalité correspondante.



©Délégation à l'information et à la communication de la Défense

Une stratégie du Ministère des Armées pour les Grands Fonds

Aspirant Elise Faillières
analyste au Centre d'Études Stratégiques de la Marine (CESM)

Paradoxe : à l'heure actuelle, l'Homme connaît bien mieux l'espace exo-atmosphérique que les fonds marins, dont 20% seulement ont été explorés. Le développement des capacités techniques permet désormais d'explorer plus en profondeur et de conquérir peu à peu ce milieu, le transformant en retour en espace de confrontation. Preuve de l'importance de ce sujet, la France l'a inscrit dans son plan pour 2030 et la ministre des Armées l'a traduit en février 2022 dans une stratégie ministérielle.

Des infrastructures stratégiques à protéger

Les fonds marins abritent de nombreuses activités, économiques ou militaires, que chaque État entend assurer et protéger. Aux premières profondeurs, les forces sous-marines réalisent plusieurs types de missions : renseignement, intervention, projection, maîtrise des espaces aéromaritimes, dissuasion.
Seuls quelques sous-marins sont capables d'oeuvrer au-delà des profondeurs opérationnelles : il s'agit de petites unités détachées d'un navire principal. Elles sont utilisées à des fins scientifiques ou pour le sauvetage de sous-marins en détresse. Il est cependant difficile de savoir quelle profondeur elles peuvent réellement atteindre.

Sur les fonds marins se trouvent également des câbles par lesquels transitent près de 99% des communications intercontinentales (téléphonie, internet, flux financiers), mais également des oléoducs sous-marins, ou des réseaux approvisionnant les îles isolées en énergie.

Historiquement, ces câbles se concentrent dans l'hémisphère nord, entre les grandes puissances occidentales. Beaucoup relient ainsi aujourd'hui le continent nord-américain et l'Europe. Toutefois, les liaisons se multiplient entre le Nord et le Sud, ainsi que sur des axes Sud-Sud. On décompte ainsi aujourd'hui plus de 450 câbles dans le monde.

Enfin,les grands fonds suscitent de plus en plus l'intérêt des acteurs économiques, en raison des ressources qu'ils renferment, notamment des hydrocarbures, des minéraux et des terres rares.

Les infrastructures d'exploitation s'y développent de manière croissante, à des profondeurs de plus en plus grandes.

Les abysses, nouveau lieu de conflictualité

Les câbles sous-marins ont très tôt été la cible d'actions offensives. Dès 1898, lors du conflit hispano-américain, puis durant les deux guerres mondiales, des câbles ont été délibérément sectionnés afin d'entraver les communications de l'adversaire. Plus récemment, durant le printemps arabe de 2011, certains ont été rompus afin d'isoler les populations syrienne et égyptienne.

Les coupures accidentelles sont toutefois les plus nombreuses : c'est pourquoi les opérateurs économiques concernés disposent de capacités de réparation prêtes à intervenir. Aujourd'hui, la préoccupation principale vient de la possibilité d'une coupure simultanée de plusieurs câbles, qui endommagerait sérieusement les relations entre États et acteurs économiques.

En plus de ce risque de coupure, existe celui de l'interception des données transitant par les câbles. Si cette opération reste encore très difficile à mettre en oeuvre, elle constitue une menace qui ne doit pas être occultée.

En temps de paix comme en temps de guerre, les câbles sous-marins sont à la fois stratégiques et très vulnérables. Les surveiller et les protéger est devenu une véritable nécessité

À cette complexification des enjeux sous-marins s'ajoute la course aux armements, particulièrement en Asie. Dans un contexte international de plus en plus instable, les fonds sous-marins seront vraisemblablement le théâtre de potentielles confrontations sous-marines.

Pour toutes ces raisons, les profondeurs des mers sont aujourd'hui devenues un nouvel espace de conflictualité, au même titre que le cyberespace et l'espace exo-atmosphérique.

Elles partagent d'ailleurs avec ces milieux un certain nombre de caractéristiques : il est ainsi difficile d'identifier l'auteur d'une attaque dans les profondeurs sous-marines, ce qui est particulièrement propice à l'hybridité et à l'ambiguïté.

Par ailleurs, les acteurs étatiques ne sont pas les seuls à agir dans les fonds sous-marins : les acteurs privés s'y multiplient et détiennent souvent des capacités techniques plus importantes, poussant parfois les Etats à faire appel à eux pour mener à bien certaines missions. On parle alors, à l'instar de l'espace, du « *New Seabed* »

Connaître, …

La guerre des grands fonds, « *seabed warfare* », nécessite d'acquérir les capacités pour inter-venir jusqu'à 6 000 mètres de profondeur.

Des outils hydrographiques et océano-graphiques existants peuvent déjà atteindre cette profondeur. Certains sondeurs peuvent même opérer jusqu'aux abysses. Mais la surface à couvrir, 97% des océans, est immense et nécessite des moyens considérables.

Il est cependant possible de s'approcher de cet objectif, en développant des sous-marins autonomes capables de collecter des données, non seulement pour la cartographie mais aussi par exemple pour analyser la composition des eaux aux divers niveaux de profondeurs. Ces données sont indispensables aux forces sous-marines, qui en déduisent avec précision la propagation des sons.

Surveiller, …

La capacité d'anticiper est aussi une nécessité. Cela requiert évidemment des capacités spécifiques adaptées aux profondeurs. La *Royal Navy* a par exemple annoncé la construction d'un « bâtiment de surveillance des fonds marins », qui devrait entrer au service actif en 2024.

La surveillance des grands fonds passe aussi par le développement de systèmes d'écoute sous-marine. Le très connu réseau américain d'hydrophones SOSUS, déployé durant la guerre froide, en est un exemple.

Aujourd'hui, les grands rivaux des États-Unis, que sont la Russie et la Chine, se montrent très intéressés par ces systèmes et cherchent à s'en doter, par exemple pour surveiller les fonds de l'océan Arctique (programme russe *Harmony*), où l'activité sous-marine s'intensifie.
Les câbles sous-marins pourraient d'ailleurs remplir cette mission d'écoute des fonds grâce aux nouvelles technologies dont ils sont dotés,

notamment la fibre optique.

… Et agir depuis et vers les fonds

Selon un rapport de l'OTAN de 2020, certains acteurs (États-Unis et Chine) se montrent aujourd'hui plus innovants, en cherchant à se doter de systèmes d'écoute sous-marine qui ne reposent plus sur l'acoustique1[1].

Ils pourraient permettre de détecter toute entrée de forces sous-marines dans une zone donnée, jouant ainsi un rôle premier dans la prévention et la protection des câbles et autres infrastructures sous-marines, mais aussi plus généralement dans la connaissance des activités sous-marines des États rivaux (forces océaniques de dissuasion, d'intervention, etc.).
La guerre des mines constitue un autre volet des capacités militaires dans les fonds marins. Habituellement cantonnés à la couche des 300 mètres, ces acteurs seront amenés à étendre leurs capacités au-delà.
En effet, on ne peut écarter la possibilité de mines posées sur des câbles sous-marins, dans les grandes profondeurs, qu'il faudrait détecter, puis neutraliser.

Une stratégie ministérielle dédiée

Ayant pris conscience du caractère stratégique des fonds marins, les États ont donné une forte impulsion au développement de leurs stratégies nationales de « seabed warfare ». La France, qui possède le deuxième domaine maritime au monde, est concernée au premier chef. Le Président E. Macron a ainsi fait des fonds marins l'un des dix objectifs stratégiques du plan « France 2030 ».
En février 2022, la ministre des Armées a présenté la « Stratégie ministérielle pour la maîtrise des fonds marins »[2]. Il y est détaillé le besoin de connaître, surveiller et agir dans les abysses, et d'adapter notre corpus législatif à ce nouveau milieu.

Cette stratégie rappelle enfin le rôle central de la Marine nationale, et mentionne les programmes CHOF (Capacité hydrographique et océanographique du futur) et SLAM-F (Système de lutte anti-mines du futur), conçus pour répondre aux ambitions françaises dans ce milieu.

Entre drones et robotique sous-marine, une nouvelle course aux technologies a commencé dans les abysses. La France a désormais toutes les cartes en mains pour cheminer vers les grands fonds.

1.L'OTAN parle de détections d'émissions chimiques et radiologiques, de lasers se réverbérant sur la coque des sous-marins, et de détection à la surface des mouvements de l'eau : cf Rapport La lutte anti-sous-marine de l'OTAN : reconstruire les capacités et se préparer pour l'avenir, publié le 13/10/2019.

2.https://www.defense.gouv.fr/content/download/635803/10509447/file/20220210_LANCEMENT+STRATEGIE+FONDS+MARINS_stratégie+-+2.pdf

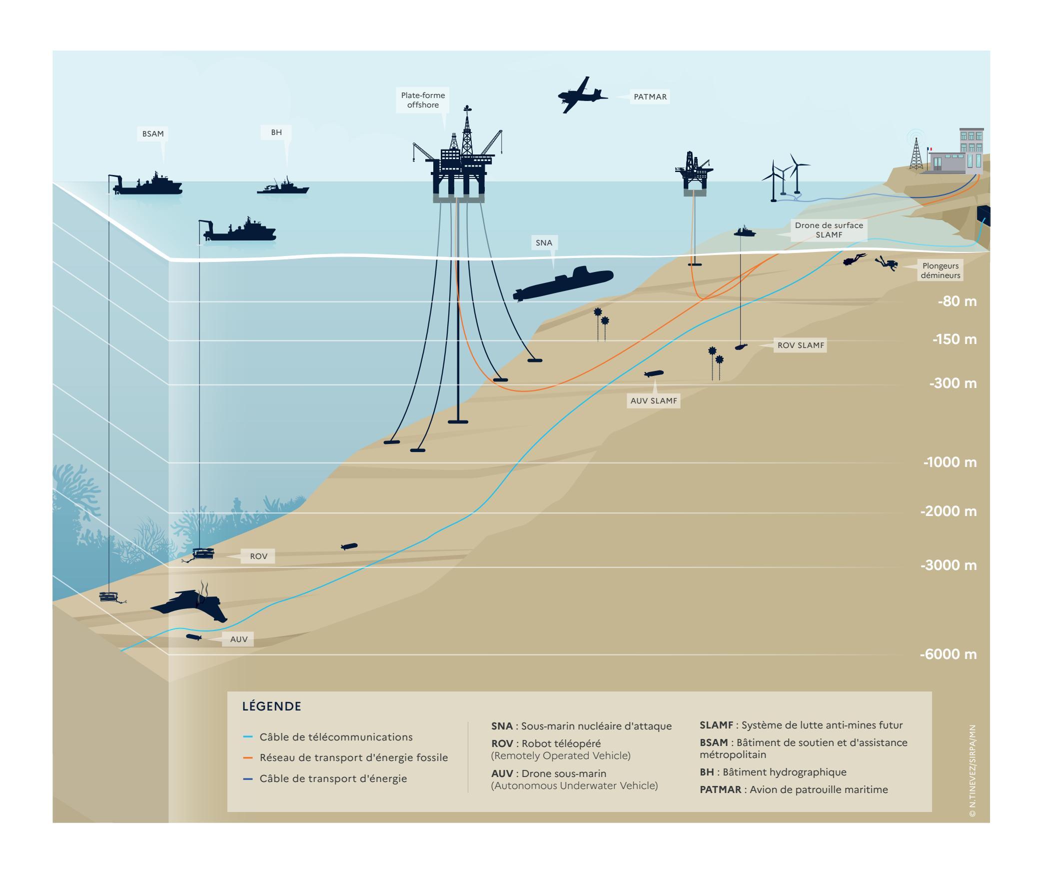


Plate-forme offshore
PATMAR
BSAM
BH
SNA
Drone de surface SLAMF
Plongeurs démineurs
-80 m
-150 m
ROV SLAMF
-300 m
AUV SLAMF
-1000 m
-2000 m
ROV
-3000 m
AUV
-6000 m
LÉGENDE
Câble de télécommunications
Réseau de transport d'énergie fossile
Câble de transport d'énergie
SNA : Sous-marin nucléaire d'attaque
ROV : Robot téléopéré (Remotely Operated Vehicle)
AUV : Drone sous-marin (Autonomous Underwater Vehicle)
SLAMF : Système de lutte anti-mines futur
BSAM : Bâtiment de soutien et d'assistance métropolitain
BH : Bâtiment hydrographique
PATMAR : Avion de patrouille maritime
© N.TINEVEZ/SIRPA/MN

Les enjeux de connaissance géophysique des grands fonds

Mikael LE GLEAU
Ingénieur en chef des études et techniques d'armement, hydrographe
Chef de la division Planification du SHOM

On connait mieux la topographie de Mars que celle des fonds marins sur Terre…

Connaître le territoire sous-marin est fondamental pour gérer les ressources et écosystèmes océaniques, assurer la sécurité des habitants face aux risques naturels marins, assurer la défense du pays, définir des limites de juridiction, soutenir et accompagner les énergies marines renouvelables, l'« *économie bleue* » et plus encore. Désormais, la France s'intéresse aux grands fonds marins, comme l'attestent l'ambition renouvelée en 2021 de la stratégie nationale d'exploration des ressources minérales en grands fonds marins, la concrétisation en 2022 de la stratégie de maitrise des fonds marins des Armées et l'objectif 10 « Investir dans le champ des fonds marins » du plan d'investissement France 2030.

Pour autant, en 2022, on estime que moins de 20 % de la bathymétrie (profondeur) des fonds marins sur le globe sont connus avec une précision acceptable alors que c'est l'un des paramètres le plus facilement accessible, mesurable et le moins variable dans le temps. La France, qui possède le deuxième espace maritime au monde par sa superficie, est concernée au premier chef par ce manque de connaissance.

Le milieu océanique est opaque, souvent turbulent, difficile d'accès (profondeurs, zones polaires par exemple) et les grands fonds marins restent encore aujourd'hui largement inexplorés. Leur connaissance nécessite en effet des capacités de mesures et de modélisation complexes.

L'océan est aussi un milieu dynamique, dont certains paramètres géophysiques varient suivant le lieu, les latitudes, les saisons et les profondeurs, et il subit les effets du changement climatique (glaces, température, courants, acidification, changements de stratification, …).

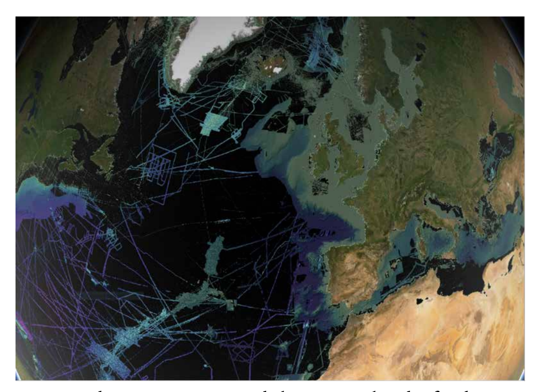


Fig.1 Etat des mesures précises de la topographie des fonds marins, réalisées au sondeur acoustique, en Atlantique Nord : aucune donnée publique n'est disponible dans les zones en noir *(© GEBCO-Shom)*

Il est difficile d'évaluer précisément le degré de connaissance des fonds : la précision des mesures dépend du domaine d'intérêt côtier ou grands fonds, mais aussi de l'objectif recherché et des paramètres qu'on cherche à mesurer.

En ce qui concerne la connaissance des profondeurs au niveau mondial, la source la plus récente et la plus complète est celle établie par une étude de 2018 (*The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World's Oceans Completely Mapped by 2030*[1]). Grâce à cette étude, on peut estimer que dans le monde, moins de 20% de la topographie des fonds marins a fait l'objet d'une mesure précise, même ponctuelle, par moyen acoustique. Le reste de la connaissance, qui a permis de réaliser des cartes marines générales, notamment dans les grands fonds, ayant été obtenu par l'altimétrie satellitale qui permet de repérer les monts sous-marins les plus importants (en raison des anomalies de densité qui provoquent des bosses à la surface de l'océan) avec une précision très limitée. Cette étude montre aussi que moins de 10% de la topographie des fonds marins a été mesurée grâce à des sondeurs multifaisceaux (cf. figure 3).



Fig. 2 : Le sous-marin USS San Francisco (SSN-711) en cale sèche après une collision avec un mont sous-marin non répertorié au sud de Guam en 2005 *(©US Navy)*

1. https://www.researchgate.net/publication/323087253_The_Nippon_Foundation-GEBCO_Seabed_2030_Project_The_Quest_to_See_the_World%27s_Oceans_Completely_Mapped_by_2030

…et la connaissance des grands fonds marins est quasi inexistante.

Pour les besoins de la sécurité de la navigation de surface, certaines zones ont été précisément hydrographiées (profondeur mesurée au standard de l'Organisation hydrographique internationale) par le Shom, dans sa mission de service hydrographique national, grâce aux campagnes de levés qui ont lieu depuis des dizaines, voire des centaines d'années. Mais c'est seulement depuis les années 2000 que ces mesures sont réalisées grâce à des moyens modernes comme le sondeur multifaisceaux (cf. figure 3). Cela concerne principalement les zones de faible profondeur (inférieures à 50 m) où le risque d'échouement existe.

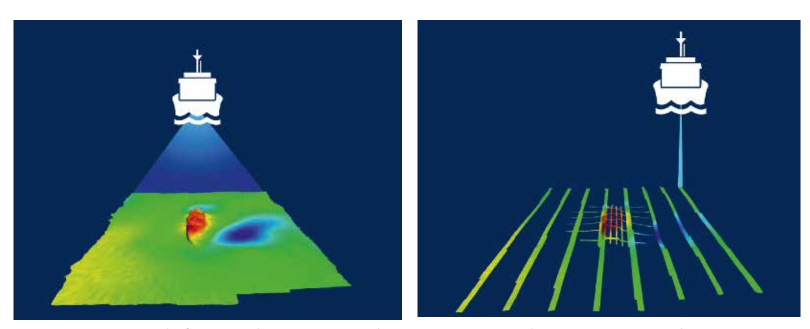


Fig.3 : différences de précision et de couverture entre les mesures au sondeur multifaisceaux (à gauche) et au sondeur monofaisceaux (à droite)

Pour les besoins des Armées, le Shom réalise également des mesures d'environnement géophysique, essentiellement destinées aux domaines de la guerre des mines, de la navigation sous-marine, de la lutte anti-sous-marine ou pour les opérations amphibies.

Par grands fonds, les mesures de bathymétrie réalisées à partir de la surface, offrent une faible résolution pour les grands fonds (cf. figure 4) qui apparaît aujourd'hui bien insuffisante pour de nouvelles applications militaires.

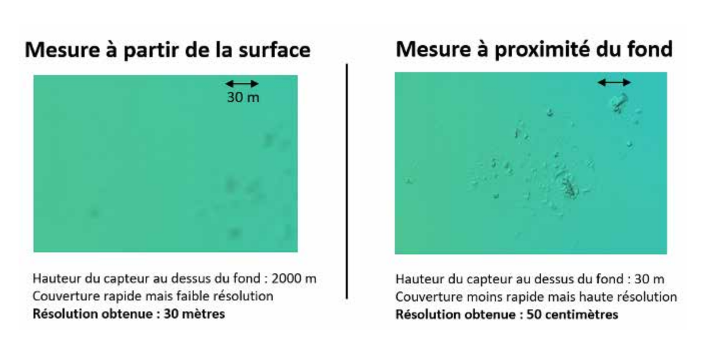


Fig. 4 : exemple de mesures de bathymétrie sur la zone du sous-marin Minerve, par 2000 m de fonds

Ponctuellement, des recherches scientifiques, comme les études de la biodiversité et des ressources minérales ou les études géophysiques et océanographiques, ont nécessité la réalisation d'investigations détaillées et à haute résolution mais sur des régions d'emprise très limitée. On peut citer par exemple les recherches menées par l'Ifremer et le Shom sur des zones en eaux internationales (Atlantique et Pacifique) où la France a obtenu des permis d'exploration auprès de l'AIFM (autorité internationale des fonds marins) ou sur le plateau continental français dans le cadre du programme national EXTRAPLAC dédié à l'appui des revendications françaises à la Commission des Limites du Plateau Continental de l'ONU.

Enfin, l'industrie réalise des mesures géophysiques dans le cadre de la prospection pétrolière ou de la pose de câbles sous-marins, mais sur des zones là encore ciblées et avec un besoin de connaissance adapté aux prescriptions de ces activités.

Ainsi, très peu de zones de grands fonds sont connues avec une haute résolution dans les zones d'intérêt français. Ailleurs, lorsqu'elle a été mesurée, la connaissance de la bathymétrie dans les zones de grands fonds n'est connue, au mieux, qu'avec une résolution supérieure à 50 mètres.

On peut donc affirmer que la connaissance de la bathymétrie dans les grands fonds, lorsqu'elle existe, se limite à la description de la morphologie générale à basse résolution. Encore faut-il noter que la bathymétrie et dans une moindre mesure l'hydrologie ont un statut particulier de données prioritaires qui bénéficient des programmes d'observation les plus anciens et réguliers. La connaissance de tous les autres paramètres géophysiques est encore plus parcellaire y compris à basse résolution.

Mission du Shom, Établissement public administratif sous tutelle du ministère des Armées

La mission du Shom définie par le code de la défense est « *de connaître et de décrire l'environnement physique marin dans ses relations avec l'atmosphère, avec les fonds marins et les zones littorales, et d'en prévoir l'évolution. Il assure la diffusion des informations correspondantes* ». L'exercice de cette mission se décline en trois activités principales : l'hydrographie nationale (conformément à la convention internationale « *sauvegarde de la vie humaine en mer* » de laquelle la France est signataire), le soutien de la défense et le soutien des acteurs des politiques publiques de la mer et du littoral.

Le Shom dispose de moyens de levés à la mer principalement au travers des navires mis à disposition par la Marine nationale (bâtiments hydrographiques et océanographiques *Beautemps-Beaupré, Laplace, Borda et La Pérouse*) et par convention avec la Flotte océanographique française (navires océanographiques *Pourquoi Pas ?* et *L'Atalante*) opérée par l'Ifremer. Ces capacités côtières et hauturières permettent de se déployer sur tous les océans et dans les zones sous juridiction nationale (10,2 millions de km²) mais aussi dans les zones d'intérêt défense (80 millions de km²).

Quelques chiffres :

544 personnes,
61 millions d'euros de budget annuel, implantation principale à Brest.



Le bâtiment hydro-océanographique Beautemps-Beaupré et une vedette hydrographique

Quels sont les enjeux de connaissance de l'environnement géophysique ?

La profondeur moyenne de l'océan mondial est de l'ordre de 3800 mètres et 65% des fonds marins se situent à des profondeurs supérieures à 3000 mètres. Les zones de grands fonds sont donc immenses. Mais quels sont les enjeux dans ces zones en termes d'environnement géophysique ?

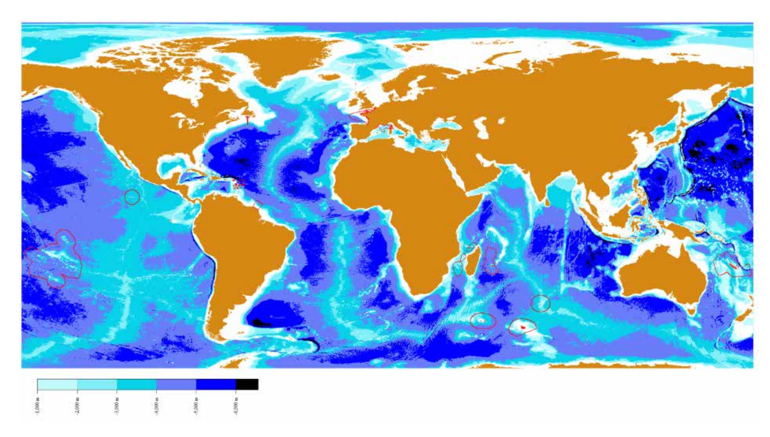


Fig. 5 : Carte générale de la bathymétrie dans le monde et de la ZEE française

Afin de garantir la liberté d'action en mer d'une part et de surveiller les infrastructures critiques ou les zones de tension en raison de leur potentiel économique d'autre part, les armées doivent pouvoir disposer d'informations précises et fiables de l'environnement physique marin. De plus, pour que la connaissance de l'environnement puisse être un avantage opérationnel, les armées doivent disposer de capacités supérieures de prévision et d'études des impacts opérationnels de l'environnement. La maîtrise des données géophysiques est donc un enjeu majeur et un facteur clé dans la réussite des opérations. Parmi les nombreux paramètres géophysiques d'intérêt, on peut citer la bathymétrie, les natures de fond, l'hydrologie, les courants, les propriétés optiques et acoustiques, les champs magnétique et de pesanteur.

Certains usages (mise en œuvre de sonars remorqués, d'AUV et de ROV, ou prévisions de propagation acoustique Ultra Basse Fréquence) requièrent en outre soit une connaissance plus fine de la bathymétrie dans les grands fonds soit une connaissance plus complète incluant d'autres paramètres comme la nature des fonds, les courants, la turbidité, le magnétisme... De plus, pour maîtriser les paramètres qui évoluent dans le temps (hydrologie, acoustique et courants par exemple), des capacités d'analyse et de prévision sont aussi nécessaires.

Ce besoin de connaissance se base sur l'état de l'art mais des évolutions technologiques pourraient ouvrir le champ des possibles et renforcer l'utilité de certains paramètres pour de nouvelles applications (détections acoustiques ou magnétiques par exemple). Certains projets technologiques de défense déjà en cours (AMETISTE, APOGE) s'attachent à anticiper ces évolutions et devront prendre en compte les nouveaux enjeux des grands fonds.

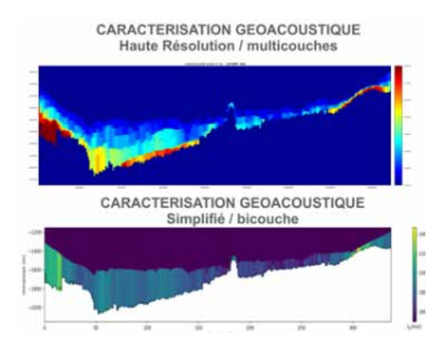


Fig. 6 : Modélisations réalisées dans le cadre du projet AMETISTE, visant l'amélioration de la connaissance du sous-sol et de son rôle dans la propagation acoustique

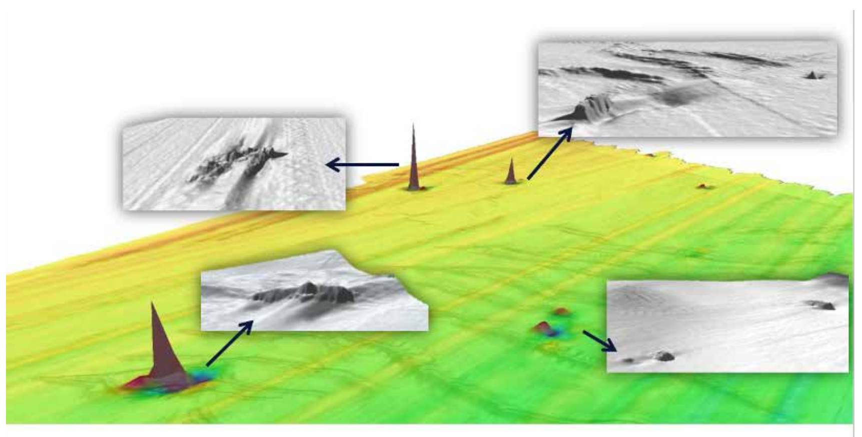


Fig.7 : Modélisation de l'anomalie magnétique superposée à la mesure de la bathymétrie dans le cadre du projet APOGE, visant à l'amélioration de la détection d'épaves et d'objets anthropiques.

Moyens et rythme d'acquisition

La mission d'hydrographie du Shom n'est pas nouvelle, puisqu'elle date de 300 ans (le Shom est le service le plus ancien au monde)… Aujourd'hui, elle repose notamment sur un Programme national d'hydrographie [2] (PNH) dans les eaux françaises, dont l'objectif est la collecte de données pour l'amélioration de la cartographie marine assurant la sécurité de la navigation. L'état d'avancement du PNH par rapport à sa cible est variable suivant les façades concernées (Manche, Atlantique, Méditerranée et outremers).

Mais en 2022, il est dans tous les cas inférieur à 30 % de couverture, avec une progression moyenne inférieure à 1% par an, essentiellement ciblée sur les zones les plus critiques pour la navigation, et cela même en prenant en compte les données collectées par les organismes extérieurs au Shom. A ce rythme, il faudra plus de 60 ans pour obtenir une description pertinente du territoire national sous-marin, ne serait-ce qu'en métropole. Contrairement à ce que beaucoup imaginent, des zones entières sous juridiction française sont actuellement inconnues, même à quelques kilomètres au large des côtes françaises.

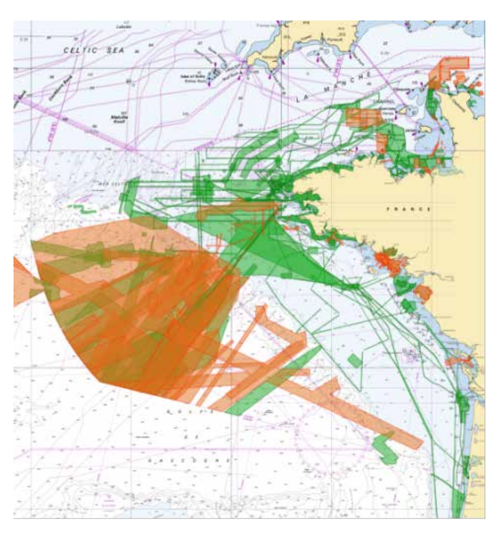


Fig. 8 : Emprises des mesures bathymétriques (non protégées) depuis 1990 et disponibles sur le portail data.shom.frla détection d'épaves et d'objets anthropiques.

2. https://www.shom.fr/fr/qui-sommes-nous/programme-national-dhydrographie-pnh

On pourrait s'étonner que des moyens aériens ou satellites ne soient pas plus utilisés. Nous allons voir qu'ils le sont, mais qu'ils ont rapidement leur limite dans cet environnement essentiellement opaque.

À l'appui des politiques publiques de l'Etat et des collectivités locales sur le littoral, le Shom met en œuvre une technique moderne et innovante de laser aéroporté depuis 2003, dans le cadre de la réalisation du référentiel géographique du littoral décidée par le Comité interministériel de la mer. Le programme Litto3D® a ainsi permis de mesurer les fonds dans la frange littorale et de fournir un modèle de référence, homogène, continu et en accès libre dans une grande majorité des eaux françaises. Néanmoins, cette technique se limite en général à des profondeurs inférieures à 10 m en métropole. Les couvertures des outremers sont déjà principalement réalisées grâce aux données Lidar, hormis la Guyane (inadaptée pour des mesures laser en raison de la turbidité de l'eau), Saint-Pierre-et-Miquelon (seulement partiellement couverte par des données de sondeurs acoustiques), et les TAAF.

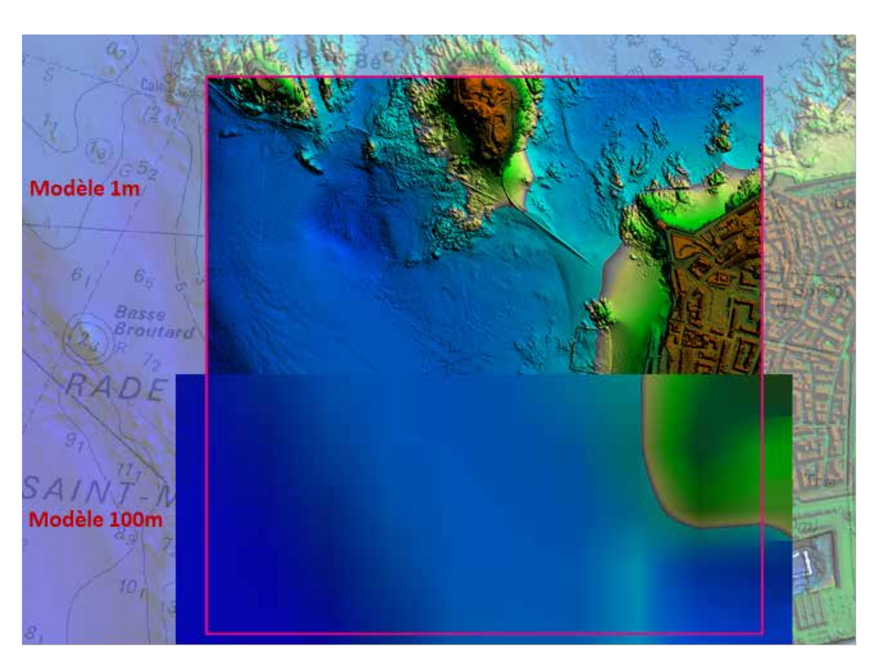


Fig. 9 : Exemple de différence de connaissance entre la couverture Lidar existante (résolution d'environ 1 m) limitée à la bande littorale et le modèle général existant sur les côtes françaises (résolution d'environ 100 m)

Par ailleurs, les capteurs satellitaires permettent un apport en termes d'estimation de la bathymétrie, mais dans des conditions d'utilisation ou de précisions très limitées :

- les capteurs imageurs multispectraux (type Sentinel-2) ne sont utilisables que dans les zones côtières peu turbides, avec une précision horizontale (latitude - longitude) de l'ordre du mètre au décimètre et verticale (mesure de profondeur) de l'ordre du mètre.
- les capteurs radar altimétriques (type SWOT) permettent d'estimer la profondeur essentiellement dans les grands fonds. Cependant, la précision verticale n'est que de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres (entre 10 et 100 m) et de l'ordre du kilomètre pour le positionnement horizontal. Ils peuvent servir à localiser des zones probables de monts sous-marins (cf. supra).

Enfin, l'intérêt national et international pour les (grands) fonds marins n'a jamais été aussi élevé. Les dirigeants reconnaissent de plus en plus la valeur, voire la nécessité, de connaître les fonds et l'environnement marin. De nombreux projets stratégiques sont lancés par des grandes puissances (à l'instar de la « *National Ocean Mapping Strategy* » publiée en juillet 2020 par la NOAA aux USA), et par des organisations internationales (ONU, Union européenne, Organisation hydrographique internationale, Commission océanographique intergouvernementale, etc.). La France est engagée dans la plupart de ces initiatives internationales : la décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable (2021-2030), le projet de l'Union européenne « *European Marine Observation and Data Network (EMODnet)* » et son objectif de création d'un jumeau numérique de l'océan, le projet international « *Nippon Foundation for social innovation - GEBCO Seabed 2030* » qui a pour ambition de fédérer les contributeurs pour produire une carte complète du plancher océanique d'ici 2030.

Mais ces projets n'envisagent pour le moment que très peu d'acquisition de nouvelles données et n'apporteront pas d'améliorations sensibles de la connaissance, et en aucun cas suffisantes pour les Armées françaises dans les grands fonds sur tous les paramètres, en particulier en termes de résolution et de zones à enjeu.

Amélioration de la connaissance

Le domaine côtier (profondeurs inférieures à 200 m) ne pose plus de difficultés techniques pour y acquérir des données sans limite de résolution et de précision, cependant les surfaces couvertes progressent lentement en absolu en raison de la faible couverture des systèmes de mesure (notamment les sondeurs bathymétriques dont la fauchée est réduite par petits fonds).

Dans les grands fonds marins, la maîtrise technique actuelle permet de répondre aux besoins de couverture à basse résolution, notamment ceux des forces sous-marines pour la navigation et la localisation. Le rendement des levés est très bon en km²/jour mais la progression rapportée à l'océan mondial est faible en raison de l'immensité des zones à couvrir, et les nouveaux besoins de connaissance à haute résolution des grands fonds nécessitent des capacités d'observation supplémentaires comme les engins autonomes sous-marins (AUV et ROV). Pour retrouver les épaves du vol AF447 (tombé au large du Brésil en 2009) ou du sous-marin Minerve (au large de Toulon en 2019), il a ainsi fallu mener des campagnes mettant en œuvre des moyens d'investigation sous-marins dont les Armées ne disposent pas en propre.

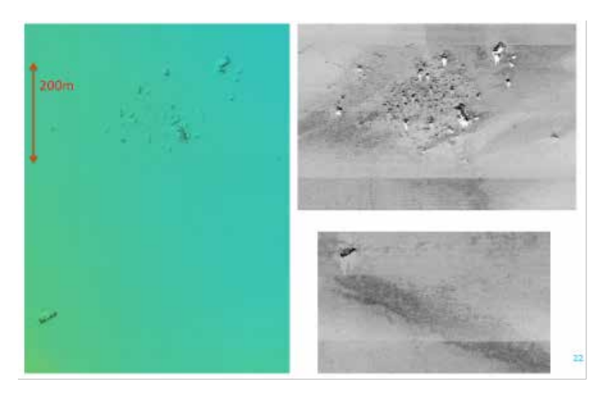


Fig.10 : détection par 2000 m de fond du sous-marin Minerve par AUV et ROV en 2019

En raison des méthodes employées et de la difficulté d'accès au milieu marin, le rythme d'acquisition de cette connaissance se compte en dizaines années. A titre d'exemple, un AUV permet de mesurer finement la bathymétrie en grands fonds sur une zone d'environ 10 km2 en 12 heures. Pour illustrer la problématique fond/résolution/rendement, les sondeurs acoustiques qui sont les seuls capables de mesurer précisément la profondeur permettent d'atteindre une résolution inférieure au mètre seulement jusqu'à une distance du fond d'environ 100 m. Accéder à une résolution permettant de détecter par exemple des modifications sur des câbles sous-marins dans les grandes profondeurs ne peut donc se faire que grâce à des engins téléopérés.

La progression en km²/jour des levés à haute résolution par grands fonds sera aussi lente que par petits fonds (en se rapprochant des fonds pour bénéficier de la haute résolution on ne bénéficie plus de l'effet de fauchée) et a fortiori la progression relative sera plus lente que celle des levés à basse résolution qui sont les seuls réalisés aujourd'hui par grands fonds.

Une autre conséquence est qu'il faudra cibler les zones d'intérêt. Afin de dimensionner et d'optimiser les moyens mis en œuvre, il est nécessaire de déterminer la stratégie d'acquisition de données au juste besoin, suivant que l'on recherche un objet particulier (épave, objet précieux), que l'on souhaite investiguer un câble ou obtenir une connaissance initiale ou l'évolution d'une zone d'intérêt.

Enfin, si ces moyens d'acquisition sont aujourd'hui généralement disponibles sur étagère et utilisent des technologies déjà matures pour le véhicule et certains senseurs (comme pour la bathymétrie, l'imagerie et la sédimentologie), ils nécessitent une expertise technique ainsi qu'une politique d'équipement et de mise en œuvre dans les Armées (choix ou complémentarité entre capacité souveraine, coopération avec des partenaires de confiance et externalisation).

De nouvelles capacités hydrographiques et océanographiques pour répondre à ces enjeux (programme CHOF)

Un programme de renouvellement des capacités des Armées (programme CHOF pour Capacité hydrographique et océanographique future) est en cours de préparation depuis 2019. Ce programme va doter la France d'une capacité souveraine, moderne et efficiente de collecte d'informations à la mer, en tout temps, en tous lieux et dans le tempo des opérations. La capacité s'appuiera, à l'horizon 2027-2028, sur des bâtiments hydrographiques de nouvelle génération emportant des drones autonomes de surface et sous-marins. Ces engins vont démultiplier la capacité d'action.

Les réflexions pour construire ce programme ont porté en 2020-2021 sur de premières expérimentations de drones de surface, sous-marins (petits, moyens et grands fonds) et planeurs sous-marins (*gliders* en anglais). Ces expérimentations ont permis d'éprouver les performances des matériels et d'évaluer les conditions de mise en œuvre et les adaptations d'architecture de la plateforme pour faciliter leur déploiement et leur récupération.

Avec les nouveaux enjeux de maitrise des grands fonds, de nouveaux besoins devront être pris en compte par ce programme.





Fig. 11 : Expérimentation du drone sous-marin HUGIN
6000m de la société KONGSBERG
depuis le bâtiment hydro-océanographique Beautemps-Beaupré – (© *FOSIT - Octobre 2021)*

Traiter, capitaliser et valoriser les données

Enfin, si l'acquisition des données en mer nécessite de relever les nombreux défis exposés précédemment, le traitement, la capitalisation et la valorisation de ces données ne doivent pas être sous-estimés.

L'autonomie des engins permet d'envisager leur multiplication et donc la génération de volumes massifs de nouvelles données. La conséquence qui en découle est la nécessité d'amélioration très sensible de la performance des traitements de ces données mettant en œuvre par exemple les possibilités de l'intelligence artificielle ou d'analyse de données massives pour pourvoir délivrer les produits et les services qui en découlent dans le tempo des opérations. Cet enjeu n'est pas complètement nouveau sur le thème de la bathymétrie puisqu'il a déjà dû être surmonté lors du saut technologique apparu avec le sondeur multifaisceaux. Néanmoins il sera amplifié et concernera désormais d'autres paramètres géophysiques, dont certains sont variables avec le temps ou sur la colonne d'eau....

Afin de pouvoir traiter ces importants volumes de données, le Shom étudie déjà aujourd'hui de nouveaux leviers d'accélération à travers les méthodes d'intelligence artificielle et d'automatisation, sur l'ensemble de la chaîne de valeur : pour le traitement des données directement issues des capteurs, pour l'analyse et la mise en évidence de l'information bathymétrique la plus pertinente parmi un patrimoine de plus de 300 ans d'hydrographie et dans la sélection des mesures de profondeurs à représenter sur les cartes marines.

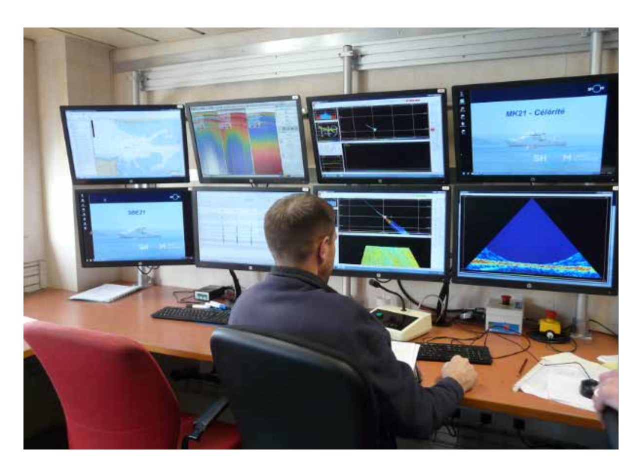


Fig. 12 : analyse et traitement des données acquises en mer

Les informations permettant de constituer la meilleure connaissance des paramètres géophysiques des grands fonds marins seront encore, à moyen terme, rares et précieuses. Il est donc aussi essentiel de capter et de capitaliser les données existantes ou nouvellement acquises par tous les acteurs du monde maritime. A ce sujet, au titre de ses missions, le Shom reçoit les données acquises dans les eaux françaises, en particulier dans le cadre réglementé de la recherche scientifique marine (RSM)[3].

Le Shom possède une expertise reconnue pour l'acquisition, la qualification et la capitalisation de ce type d'information en bases de données, et leur mise à disposition sous forme de produits ou services, protégés lorsque nécessaire. La base de données bathymétriques du Shom contient par exemple actuellement 17 milliards de sondes vérifiées et qualifiées.

Ainsi, le Shom a été identifié avec l'Ifremer lors du CIMER de mars 2022 pour *« proposer une politique de capitalisation et de valorisation des données qui seront recueillies à l'occasion des missions d'exploration, en prenant en compte les expériences nationales et européennes »*.

En conclusion, l'amélioration de la connaissance géophysique des grands fonds est donc un enjeu fort pour les opérations, récemment confirmé par la stratégie de maîtrise des fonds marins des Armées. Celle-ci nécessitera notamment la mise en œuvre de moyens d'acquisition innovants comme les drones sous-marins, mais aussi des méthodes performantes de traitement et de valorisation des données.

Le rythme d'amélioration s'étalera sur un temps plus ou moins long suivant l'investissement qui pourra y être consacré. En effet, si la majorité des technologies nécessaires pour la mesure de cette connaissance sont aujourd'hui matures, les capacités détenues ou mises en œuvre par les Armées, et les organismes français en général, restent encore très limitées face aux millions de km^2 à couvrir.

3. https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000034675364&categorieLien=id

Les grands fonds marins, frontière de la connaissance, défi technologique et enjeu socio-économique

Jean-Marc DANIEL,
Directeur du département REM
François HOULLIER
Président-Directeur général (Président & CEO)
Olivier LEFORT
Directeur de la flotte océanographique française

« Pompe à carbone » et menacé d'acidification, l'océan joue un rôle déterminant dans la régulation du climat. Encore mal connue, sa biodiversité est aussi immense que profondément altérée et en danger. Il fournit 17% des protéines animales de l'alimentation humaine et son rôle géostratégique est plus que jamais clé pour l' économie mondiale. Aussi, l'océan est-il au cœur d'enjeux considérables qui motivent une demande croissante de recherche, d' innovation et d'expertise et un immense besoin de données, qui sont régulièrement mises en avant dans les agendas nationaux, européens et internationaux[1]. Acquérir des données en mer, avec une résolution spatiale et temporelle suffisante, reste cependant un travail lourd et de longue haleine : alors qu'un satellite peut fournir en une journée une image multispectrale d'une surface supérieure à celle de l'Europe, il faut des dizaines d'années pour obtenir une carte bathymétrique précise de la façade Manche – Atlantique avec un navire.

Dans ce cadre général, les grands fonds marins sont l'objet d'une attention particulière. Ils sont d'ores et déjà vitaux pour l'économie mondiale, puisque les câbles sous-marins transportent environ 99% des données intercontinentales1[2]. Leurs ressources sont potentiellement immenses : ils contiennent des formations minérales dont les concentrations de certains métaux nécessaires à la transition énergétique sont plus élevées que dans les gisements terrestres, leur biodiversité est une source de bio-inspiration et l'étude des organismes vivants qui s'y trouvent a déjà conduit à la découverte de solutions thérapeutiques[3].

Cependant, les grands fonds marins restent très peu connus, alors même que cette connaissance est indispensable pour adopter des politiques responsables de protection ou de gestion durable : à l'échelle de la planète, moins de 3% ont été cartographiés à une résolution décamétrique ; leur rôle dans le fonctionnement global des océans et les ressources qu'ils recèlent sont encore largement à découvrir ; il en va de même pour leur biodiversité, dont l'adaptation à ces milieux extrêmes repose sur des stratégies parfois étonnantes. Par ailleurs, les progrès technologiques requis pour accéder aux grandes profondeurs peuvent profiter aux applications de la vie courante, à l'instar de ce qui s'est produit dans le domaine spatial.

Cette attention se traduit de multiples façons aux niveaux national, européen et international : documents de réflexion1[4], rapport du Sénat[5], prise de position

1. https://fr.unesco.org/ocean-decade
2. Mike Clare, Submarine Cable Protection and the Environment, March 2022 - Issue #4, A Publication from the International Cable Protection Committee; The Era of the Undersea Cable, Jayne Miller TeleGeography blog, 2016.
3. Anais J., Goulletquer P. 2017. Un océan de promesses. Editions Quae, 168 pages.
4. https://www.ihest.fr/ihest-mediatheque/les-grands-fonds-marines-entre-exploitation-et-conservation/ ; https://www.fondationdelamer.org/les-grands-fonds-marins/
5. https://www.senat.fr/notice-rapport/2021/r21-724-notice.html

du Président de la République le 30 juin 2022 à Lisbonne, déclaration de la Commission européenne[6], demandes de moratoire par certains Etats et ONG, négociation intergouvernementale sur la biodiversité marine des zones ne relevant pas d'une juridiction nationale, travaux sur le règlement d'exploitation de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM). Le comité interministériel de la mer (CIMER) de 2021 et l'objectif 10 du plan France 2030 ont ainsi fait de l'exploration de l'océan profond une priorité nationale[7].

Après une brève mise en perspective historique, cet article situe les activités de l'Ifremer relatives aux grands fonds marins dans le cadre de sa stratégie globale : sans viser l'exhaustivité ni se limiter au seul sujet des ressources minérales, il brosse un paysage de leur diversité et de leurs perspectives.

Mise en perspective historique

Il y a 150 ans, l'expédition du HMS Challenger et les données et résultats qui en sont issus, ont marqué une étape majeure dans notre compréhension de l'océan[8]. Outre qu'elle a inauguré une approche interdisciplinaire et internationale de la recherche océanographique, cette expédition a transformé la perception de l'océan profond, considéré jusque-là comme une plaine abyssale homogène et abiotique : elle a notamment découvert les nodules polymétalliques, laissé entrevoir la diversité des paysages sous-marins et révélé l'existence, alors insoupçonnée, d'un grand nombre d'espèces et de formes de vie.

Avec la construction des bathyscaphes, puis des sous-marins de poche et des robots télé-opérés, les technologies d'exploration sous-marines ont ensuite ouvert la voie à d'autres découvertes. Les années 1970 ont ainsi marqué une nouvelle rupture dans notre connaissance des grands fonds marins, avec la détection et les premières observations des sources hydrothermales profondes, ainsi que des dépôts de sulfures polymétalliques et des « oasis de biodiversité » qui leur sont associés[9]. A la même période, le Centre national pour l'exploitation des océans (Cnexo) a aussi mené plusieurs campagnes dans le Pacifique dans la zone dite de Clarion Clipperton riche en nodules.

En France, deux autres dates témoignent de l'évolution des questionnements scientifiques relatifs aux grands fonds marins et de la prise en compte progressive de la complexité des enjeux qui leur sont attachés. En 2011, une étude prospective de

6. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0174
7. https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/contenu/piece-jointe/2021/01/2021-01-22_dossier-presse-cimer.pdf
8. https://www.nhm.ac.uk/our-science/science-events/the-challenger-society-conference-2022-in-london.html
9. https://wwz.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-decouvertes/Sources-hydrothermales

l'Ifremer a porté sur les dynamiques des grandes filières intéressées par les ressources minérales profondes en distinguant quatre grands types de gisements : les sulfures hydrothermaux, les encroûtements de cobalt et de platine, les nodules polymétalliques et les sources d'hydrogène naturel[10]. Trois ans plus tard, en 2014, une expertise scientifique collective pilotée par le CNRS et l'Ifremer a rendu compte de l'état des connaissances sur les impacts environnementaux de l'éventuelle exploitation des ressources minérales marines profondes[11].

La connaissance au cœur de la raison d'être de l'Ifremer

Seul organisme national dédié aux sciences et technologies marines, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) est né en 1984 de la fusion du Cnexo, lui-même créé en 1967, et de l'Institut scientifique et technique des pêches maritimes (ISTPM), issu en 1953 de l'Office scientifique et technique des pêches maritimes (OSTPM)[12]. Du Cnexo, l'Ifremer a notamment hérité son intérêt pour l'exploration et la connaissance de l'océan profond ainsi que les compétences et ressources afférentes.

Situation à la fois intéressante et exigeante, les missions de l'Ifremer et son statut d'établissement public à caractère industriel et commercial le placent au carrefour de la recherche scientifique et technologique, du soutien aux politiques publiques et du partenariat industriel pour l'innovation. La composition de son conseil d'administration en témoigne au travers de la présence des ministères respectivement chargés de la Recherche, de l'Environnement, de la Mer, de l'Industrie et des Armées ainsi que des Outre-mer.

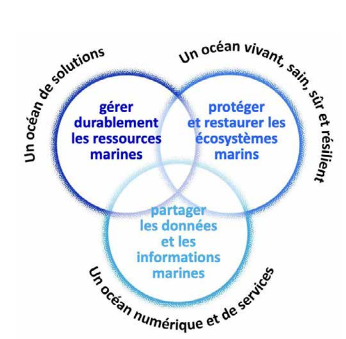
Fort de son histoire et de son identité, l'Ifremer définit aujourd'hui sa raison d'être autour de trois grandes finalités (figure ci-dessous) qui ont la connaissance comme dénominateur commun et qui, toutes, à un titre ou à un autre, concernent les grands fonds marins.

---

10. https://wwz.ifremer.fr/content/download/44025/file/Synth%C3%A8se%20REMIMA%20-%20version%20finale%20-%20BD.pdf

11. Dyment J. et al. (coord.). 2014. Les impacts environnementaux de l'exploitation des ressources minérales marines profondes. Expertise scientifique collective, Rapport, CNRS – Ifremer, 930 p.

12. Chatry G. 2021. Il était une fois l'Ifremer. Editions Quae, 131 pages.



Finalité des recherches, expertises et innovations de l'Ifremer.

• La première finalité concerne l'exploitation durable des ressources des océans, qu'elles soient vivantes ou physiques. Pour les grands fonds, il s'agit tout à la fois des ressources biologiques présentes dans ces milieux extrêmes et des ressources minérales. C'est en 2002 que l'adjectif « durable » a été introduit à l'article 3 des statuts de l'Ifremer, traduisant ainsi la prise de conscience des risques liés à une vision purement extractive des ressources marines et la nécessité d'une approche écosystémique de leur gestion.

• La deuxième finalité concerne la protection et la restauration de l'océan, ainsi que la prévention des risques qui lui sont liés. La connaissance et la protection de la biodiversité des grands fonds sont devenus des enjeux forts, à mesure que l'exploration et l'observation de ces environnements en ont révélé l'originalité et la vulnérabilité. La compréhension des aléas sous-marins relève également de cette finalité : les travaux menés autour de la crise sismique et volcanique qui affecte Mayotte depuis 2018 en sont une belle illustration, avec la découverte du volcan sous-marin Fani Maoré et les 23 campagnes scientifiques ou de surveillance menées en mer depuis 2019[13].

• La troisième finalité concerne la gestion et le partage des données scientifiques marines et des services qui peuvent en être dérivés au bénéfice des pouvoirs publics, des entreprises, des citoyens et, plus largement, de l'ensemble de la société. La contribution de l'Ifremer au projet international Seabed2030 de cartographie systématique des fonds marins en est un exemple[14].

Partenariats et projets de l'Ifremer pour l'étude des fonds marins

En 2020, la cartographie nationale des compétences de la recherche publique dans

13. Feuillet, N., Jorry, S., Crawford, W.C. et al. Birth of a large volcanic edifice offshore Mayotte via lithosphere-scale dyke intrusion. 2021. Nat. Geosci. https://doi.org/10.1038/s41561-021-00809-x
14. https://seabed2030.org/

le champ des sciences et technologies marines[15] a montré que l'Ifremer représentait environ le quart des forces françaises de ce domaine considéré dans sa globalité.

Cette proportion est nettement supérieure quand on se focalise sur l'océan profond qui constitue en effet l'une des spécialités de l'Institut, tant sous l'angle de son exploration et de la recherche scientifique que sous l'angle des développements technologiques nécessaires. Dans ce domaine particulier, l'Ifremer collabore avec les autres équipes scientifiques françaises spécialisées sur le sujet et qui appartiennent principalement au CNRS, à l'IPGP, au BRGM, à l'IRD, à Sorbonne Université, à l'Université de Bretagne occidentale et à Aix-Marseille Université.

Au niveau international, les collaborations concernent plusieurs pays, dont notamment les Etats-Unis (ces collaborations ont été particulièrement denses dans les années 1970 quand les sources hydrothermales ont été découvertes), le Japon[16] (dès la création du Cnexo, avec la Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology [Jamstec], tout particulièrement dans le domaine des géosciences marines) et l'Allemagne (dans le cadre de l'initiative de programmation conjointe dédiée aux océans, deux projets successifs ont été dédiés à l'étude des impacts de l'éventuelle exploitation des nodules polymétalliques[17]).

Recherches

Les recherches menées par l'Ifremer sur les grands fonds marins concernent un vaste ensemble de sujets qui ne se limitent pas, tant s'en faut, aux seules ressources minérales. Elles sont principalement conduites selon trois grands axes : les interactions entre l'océan et la lithosphère ; la dynamique et le fonctionnement des écosystèmes profonds ; et les développements technologiques nécessaires aux deux axes précédents.

Ces recherches et études sont concentrées à Brest : elles sont menées dans deux unités mixtes de recherche, communes avec le CNRS et l'Université de Bretagne occidentale, dédiées à la biologie et à l'écologie des écosystèmes profonds, aux géosciences marines et à l'océanographie physique, ainsi que par l'unité propre « Recherche et développements technologiques » pour ce qui concerne notamment les capteurs, l'instrumentation et le comportement des structures en mer.

---

15. Moulinier et al. 2020. Cartographie des Sciences et Techniques de la Mer dans la recherche publique française : un premier inventaire. Synthèse. Ifremer. https://archimer.ifremer.fr/doc/00669/78074/

16. https://wwz.ifremer.fr/archives/content/download/96730/file/article_coop%C3%A9ration_Japon.pdf

17. https://www.jpi-oceans.eu/en/miningimpact et https://miningimpact.geomar.de/miningimpact-2

D'autres recherches sont menées dans d'autres unités de l'Ifremer : par exemple à Nantes, en biotechnologies marines, avec l'étude de molécules produites par des bactéries découvertes dans les écosystèmes profonds[18].

Observatoires des fonds de mer et de la colonne d'eau

Les recherches menées sur l'océan profond sont adossées à des observatoires scientifiques, au point fixe, du fond de la mer et de la colonne d'eau, dont l'objectif est d'acquérir en temps réel des séries temporelles longues (10 à 20 ans au moins) sur les processus environnementaux liés aux interactions entre la géosphère, la biosphère et l'hydrosphère.

L'Ifremer est ainsi fortement impliqué dans EMSO1[19], une infrastructure de recherche européenne formée par un réseau européen de tels observatoires, dont le but est d'étudier l'impact du réchauffement climatique sur les mers entourant l'Europe, les écosystèmes marins profonds dans une double optique de recherche fondamentale et de gestion durable ; les processus tectoniques, volcaniques, hydrothermaux et gravitaires et la surveillance des risques naturels associés (séismes, tsunamis, instabilité des pentes) pour les zones côtières à forte densité de population.

Pour ce qui concerne l'Ifremer et ses partenaires français, ces observatoires sont situés : aux Açores sur la dorsale Médio-Atlantique dans la zone économique exclusive du Portugal, en mer Ligure à l'Est, sur la pente de Nice et dans la zone profonde du talus continental niçois, et à l'Ouest, appuyé au télescope à neutrinos du CNRS, en mer de Marmara sur la faille Nord Anatolienne et en mer d'Iroise, au large de Molène. Deux projets sont appelés à compléter ce réseau dans les prochaines années. Mené en partenariat avec de nombreux établissements, dont le CNRS et l'IPGP, et cofinancé par France 2030 en tant qu'équipement d'excellence, le premier est situé au large de Mayotte et s'inscrit dans la continuité des travaux engagés depuis 2019 sur la crise sismo-volcanique et ses conséquences. Le second, qui impliquera aussi l'IRD, va être installé au large de la Nouvelle-Calédonie dans le cadre d'un partenariat franco-japonais avec Jamstec.

La décennie des Nations Unies pour les sciences océaniques au service du développement durable a retenu la proposition de programme « OneDeepOcean – One Network for Deep Ocean Observation » portée par l'Ifremer avec ses partenaires européens (EMSO), canadiens (Ocean Network Canada) et japonais (Jamstec). Ce programme, qui inclut également le projet d'observatoire à Mayotte et une action de

18. https://wwz.ifremer.fr/Innovation/Portefeuille-brevets/Biotechnologie/Souche-bacterienne-marine-du-genre-alteromonas.-exopolysaccharides-hydrosolubles-produits-par-cette-souche.-et-leurs-utilisations
19. EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory) : https://emso.eu/

sciences participatives, s'intègre dans un ensemble plus vaste d'actions qui concernent l'océan profond[20].

Développements technologiques de reconnaissance et d'accès aux grands fonds marins

Comme cela a été indiqué dans la partie historique, l'accès à l'océan profond constitue un verrou technologique pour l'exploration, l'observation et, in fine, la connaissance des grands fonds marins, que ce soit sous l'angle des géosciences, de l'écologie ou de la biologie.

Depuis 2018, l'Ifremer est l'opérateur unique de la flotte océanographique française qui est utilisée par l'ensemble de la communauté scientifique française. A ce titre, il est chargé non seulement des navires océanographiques, mais aussi de l'ensemble des engins et équipements nécessaires. C'est ainsi que la direction de la flotte océanographique comprend une unité dédiée aux systèmes sous-marins et localisée à La Seyne-sur-mer. Les développements technologiques menés par cette unité impliquent à la fois un dialogue avec la communauté scientifique formée par les utilisateurs des systèmes sous-marins et de nombreuses collaborations avec des entreprises du secteur maritime. Cette unité est ainsi responsable de la conduite de plusieurs projets structurants inscrits dans la programmation à moyen terme de la modernisation de la flotte qui vise à doter la communauté scientifique française d'un ensemble complet de moyens de reconnaissance, d'observation et d'intervention sous-marine jusqu'à 6000 mètres de profondeur :

- Le maintien en conditions opérationnelles de Nautile, le seul sous-marin scientifique habité en Europe : celui-ci a bénéficié d'un grand carénage qui lui permet d'être techniquement opérationnel jusqu'en 2028 ; lancé en 1984, il a réalisé sa 2000e plongée en juin 2021, sur l'observatoire situé aux Açores ;

- La modernisation du robot télé-opéré Victor et la conception d'un deuxième robot, de nouvelle génération, qui a vocation à prendre le relais de Nautile afin d'assurer dans la durée la disponibilité de deux engins d'intervention. S'y ajoute un projet d'équipement d'excellence, financé par France 2030, pour développer des capteurs et charges utiles qui complèteront l'équipement de ces deux robots ;

- Le développement d'un drone autonome sous-marin (AUV), Ulyx, qui a été baptisé fin 2020 et qui est encore dans une phase de mise au point avant son déploiement opérationnel.

20. https://www.oceandecade.org/news/decade-actions-explore-the-deep/

L'arrivée de cet AUV s'inscrit dans l'accélération du développement de systèmes autonomes de mesures en mer capables de naviguer selon des missions préprogrammées et dotés d'intelligence embarquée. Ce mouvement laisse envisager de nouvelles formes d'observation intégrée de l'océan, couplant différents vecteurs, observations satellitaires et modélisation, qui sont porteuses de révolutions dans notre compréhension de l'océan. Pour les déployer, il faudra être en mesure de traiter de plus en plus de données, à la fois pour piloter des flottes d'engins autonomes et pour améliorer la précision et la robustesse des modèles. Les « jumeaux numériques de l'océan » sont appelés à jouer un rôle déterminant pour faciliter ces traitements et proposer différents scénarios d'aide à la décision des parties prenantes.

Appui aux politiques publiques

L'Ifremer réalise, pour le compte du ministère de la Transition écologique, une veille transdisciplinaire (scientifique, technologique, juridique, institutionnelle et industrielle) sur les ressources minérales non énergétiques des grands fonds. Cette veille est importante car on constate une diversification des acteurs scientifiques et technologiques, publics et privés, dans le monde, avec la montée en puissance de certains états, dont la Chine, l'Inde ou la Norvège.

Avec la collaboration du Shom, l'Ifremer conduit, depuis 2003, le programme d'extension raisonnée du plateau continental (Extraplac) qui est coordonné, pour le compte de l'Etat, par le secrétariat général de la mer. Sans préjuger des décisions qui seront prises quant à leurs usages, ce programme a d'ores-et-déjà permis à la France de préserver ses droits pour l'avenir dans de vastes espaces sous-marins (environ 730 000 km2) . Il va se poursuivre dans les dix prochaines années, avec un enjeu qui porte sur environ 500 000 km2 supplémentaires[21].

On peut également rattacher à l'appui aux politiques publiques, les deux contrats d'exploration avec l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) qui sont portés par l'Ifremer et patronnés par l'Etat français. Le premier concerne la zone de Clarion-Clipperton : signé en 2001 et expiré en 2016, il a depuis été renouvelé à deux reprises et s'inscrit dans la continuité des travaux menés par le Cnexo dans les années 1970 sur les nodules polymétalliques. Le second contrat a été signé en 2014 et porte sur une zone de la dorsale médio-atlantique qui abrite des amas de sulfures polymétalliques. Les activités relatives à ces deux contrats bénéficient, depuis 2022, du soutien du plan France 2030.

21. https://wwz.ifremer.fr/Espace-Presse/Communiques-de-presse/Le-domaine-sous-marin-de-la-France-va-s-agrandir-de-plus-de-150.000-km2

Conclusion

A la croisée d'enjeux majeurs de différente nature — enjeux scientifiques et technologiques, environnementaux, économiques, géopolitiques et de souveraineté —, les grands fonds marins sont un objet d'étude de premier choix pour l'Ifremer. Bien au-delà des seules ressources minérales qui polarisent aujourd'hui l'attention, ils sont riches de questions scientifiques nombreuses et diverses qui s'inscrivent pleinement dans la stratégie de l'Institut et mobilisent des partenariats de long terme en France, en Europe et dans le monde.

Véritable frontière scientifique, l'océan profond continue d'être un défi pour l'exploration, pour la connaissance de sa géodiversité et de sa biodiversité, de son fonctionnement, des services écosystémiques qu'il fournit et de sa résilience face à d'éventuelles perturbations. C'est en effet sur la base de ces connaissances, et de leur partage, que pourront être fondés le choix et les modalités de la protection de ces écosystèmes fragiles et vulnérables ou de la gestion durable et responsable des ressources qu'ils abritent.

Deux grands programmes interdisciplinaires sont appelés à jouer un rôle important dans les recherches françaises sur les grands fonds marins. Lancé formellement en 2021, doté de 40 millions d'euros et copiloté par le CNRS et l'Ifremer, le programme prioritaire de recherche Océan-Climat a identifié l'océan profond comme l'une de ses quatre zones prioritaires (avec les océans polaires, les Outre-mer et les zones marines et côtières métropolitaines vulnérables).

Appelé à être co-piloté par le CNRS, l'Ifremer et l'IRD, le futur programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) « Grands fonds marins » aura notamment pour objectif d'élargir et renforcer la communauté scientifique qui s'intéresse à l'océan profond en y attirant des compétences extérieures. Au-delà des sciences naturelles (géologie, géochimie, écologie, biologie…) et de la collecte des données afférentes, il aura aussi vocation à s'ouvrir largement aux sciences humaines et sociales, par exemple sur des sujets de recherche fondamentale tels que la représentation des fonds marins par les différentes sociétés humaines ou l'évaluation des services écosystémiques qu'ils fournissent : ces thèmes sont en effet essentiels pour accompagner les politiques publiques de l'échelle territoriale à l'échelle internationale.

L'Ifremer est par ailleurs concerné, directement ou indirectement, au travers de partenariats, par les premières « missions » identifiées dans l'axe du plan France 2030 dédié à l'exploration des grands fonds marins[22].

22. https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/document/document/2022/03/dossier_de_presse_-_rapport_du_comite_interministeriel_de_la_mer_-17.03.2022.pdf

Quand l'avenir des abysses obscurs se dessine sous le soleil des Caraïbes.

Olivier GUYONVARCH
Ambassadeur de France en Jamaïque,
Représentant permanent auprès de l'Autorité internationale des fonds marins

Avertissement : cet article décrit le travail de l'Autorité internationale des fonds marin et les grands enjeux qui l'animent, mais ne constitue aucunement une déclaration sur la position de la France dans cette enceinte.

« Alerte rouge sur les fonds marins » ; « Recherche, exploration, infrastructures : ruée vers les grands fonds marins » ; « L'industrie minière prépare le pillage des fonds marins ». On pourrait multiplier à l'envie les exemples de titres alarmistes de la presse sur le sujet des grands fonds marins. Sommes-nous à la veille d'une nouvelle « ruée vers l'or » débouchant sur le saccage inéluctable d'une biodiversité encore largement inconnue ? L'Autorité Internationale des fonds marins (ci-après AIFM ou l'Autorité) serait-elle sur le point de livrer la clef des abysses et de leurs richesses à l'appétit vorace des excavatrices ?

La réalité est plus nuancée. L'exploration active des grands fonds marins a été lancée depuis les années 1970 et est aujourd'hui strictement encadrée par l'Autorité internationale des fonds marins. Les fonds marins sont riches en minéraux nécessaires à la transition énergétique. Les techniques d'extraction restent toutefois encore au stade expérimental (il n'est pas simple de guider avec précision des engins à 5.000 m. de profondeur dans une eau à 4 degrés) et surtout, l'élaboration du cadre juridique international qui devra, selon le mandat de l'AIFM, assurer une exploitation durable et respectueuse de l'environnement de ces ressources n'est pas achevée.

La question des fonds marins est à l'origine de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer

On célèbre cette année le 40ème anniversaire de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (ci-après « la Convention »), dite Convention de Montego Bay[1], considérée comme la « Constitution des océans ». Elle créée un ordre juridique pourvu d'institutions, dont l'une des plus importantes et des plus mal comprises est l'Autorité internationale des fonds marins.

La Convention est le fruit d'une négociation au long cours lancée en 1967 à la suite de l'initiative du Représentant permanent de Malte aux Nations-Unies, l'ambassadeur Arvid Pardo, qui posa les principes applicables aux fonds marins. Elle y consacre sa partie XI, la plus longue (58 articles et 2 annexes). Jugée trop ambitieuse et défavorable à leurs intérêts par les Etats qui s'étaient déjà engagés dans l'exploration des grands

1. Elle fut signée le 10 décembre 1982 dans cette station balnéaire de la Jamaïque.

fonds, la partie XI a fait l'objet d'un accord d'application. « L'Accord de 1994 » en simplifie les modalités d'application[2] et a ainsi ouvert la Convention à une adhésion très large des Etats[3].

La Convention garde les traces de l'histoire de sa négociation, puisque les grands fonds marins sont mentionnés dès le préambule et les trois premiers alinéas de l'article 1 lui sont consacrés[4]. L'AIFM et le régime juridique s'appliquant aux grands fonds marins et à leurs ressources sont donc au cœur des enjeux du droit de la mer.

La Zone, une zone de non-droit ?

La haute mer est souvent considérée comme une zone de non-droit car y règne le principe de la liberté des usages. La Zone serait-elle aussi ce Far West tant décrié ? Si un certain nombre de libertés de la haute mer s'y appliquent (liberté de poser des câbles sous-marins, de construire des installations, liberté de la recherche scientifique…), les ressources de la Zone ne sont pas d'accès libre.

La « Zone » (avec un « Z » majuscule) est constituée du fond des océans et de leur sous-sol au-delà des juridictions nationales (Art. 1) et représente environ 50% de la surface des océans mondiaux. Juridiquement la Zone est ce qui reste lorsque les Etats côtiers ont déclaré leurs zones (avec un « z » minuscule) sous juridictions nationales, c'est-à-dire leur plateau continental, sur lequel ils jouissent du droit exclusif d'exploration et d'exploitation des ressources minérales et biologiques.

Les ressources de la Zone visée par l'article 133 de la Convention sont « *les ressources minérales solides, liquides ou gazeuses (…) qui (…) se trouvent sur les fonds marins ou dans leur sous-sol, y compris les nodules polymétalliques* ». À ces ressources s'applique un régime juridique particulier et révolutionnaire inscrit à l'article 136 de la Convention : « *les ressources de la Zone sont le patrimoine commun de l'Humanité* ». En conséquence, « *aucun Etat ni aucune personne physique ou morale ne peut s'approprier une partie quelconque de la Zone ou de ses ressources* » (art. 137). L'utilisation de ces ressources doit se faire « *au bénéfice de l'humanité tout entière (…) et compte tenu particulièrement des intérêts et besoins des États en développement* », et l'Autorité doit assurer « *le partage équitable, sur une base non discriminatoire, des avantages financiers et autres avantages économiques tirés des activités menées dans la Zone* » (art. 140).

2. Accord relatif à l'application de la partie XI de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer du 10 décembre 1982, signé le 28 juillet 1994.

3. La Convention est ratifiée par 167 Etats et l'Union européenne, tous membres de l'Autorité, qui accueille aussi 94 observateurs (30 Etats, 32 organisations internationales et 32 ONG).

4. Art. 1(1) : définition de la Zone ; art. 1(2) : l'Autorité des fonds marins ; art 1(3) : les activités dans la Zone.

Le plateau continental est le prolongement sous la mer du territoire terrestre de l'Etat côtier.
Chaque Etat (pour autant que ses droits ne soient pas limités par ceux d'un autre Etat) peut disposer en vertu de l'article 76 de la Convention d'un plateau continental « forfaitaire » (ou juridique) s'étendant jusqu'à 200 milles marins de ses côtes (soit 368,4 km). Il est constitué du fond océanique et de son sous-sol. Certains Etats peuvent prétendre à un plateau continental « étendu » jusqu'à un maximum de 350 milles marins ou de 100 milles marins au-delà de la ligne des 2.500 m. de profondeur, pourvu qu'ils puissent démontrer par des études géologiques devant la Commission des limites du plateau continental (CLPC) que leur territoire terrestre s'étend bien sous la mer jusqu'à ces distances[5]. L'étude des dossiers d'extension déposés par les Etats est longue et loin d'être achevée. A chaque nouvelle recommandation de la CLPC, la Zone internationale est ainsi grignotée par les zones de juridiction des Etats.

Il revient à l'Autorité internationale des fonds marins d'organiser et contrôler les activités dans la Zone « *pour le compte de l'humanité tout entière* » (art. 153). Ces activités (l'exploration et la recherche scientifique liée) font l'objet d'un contrat[6] entre un contractant et l'Autorité, à la suite de l'approbation d'un plan de travail par le Conseil constitué de trente six Etats membres. Le Conseil se prononce sur la base d'une étude détaillée de la demande par la Commission juridique et technique (CJT). Le contractant peut être un organisme public (c'est le cas de la France avec l'Ifremer), une coentreprise ou une entreprise privée, mais il doit être parrainé par un Etat. **L'accès aux ressources minérales de la Zone n'est donc pas libre et les avantages que peuvent en tirer les contractants doivent être partagés en priorité avec les Etats en développement.**

Les contrats d'exploration ne portent que sur une part infime du plancher des océans. L'Autorité a signé 31 contrats d'exploration[7] portant sur une surface totale de 1.510.000 km², soit 0,8% de la surface de la Zone et 0,4% de la surface totale des mers et océans[8]. Dans la zone de fracture de Clarion Clipperton, où 1.425.000 km² font l'objet de contrats d'exploration des nodules, ont été établis 1.973.000 km² de zones écologiques protégées où aucune activité n'est autorisée. **L'AIFM a donc mis sous protection environnementale une surface plus grande que celle sur laquelle porte l'ensemble des contrats d'exploration.**

5. Grâce à ses outre-mer, la France est le pays qui peut prétendre aux plus grandes surfaces de plateau continental étendu.
6. Les contrats d'exploration sont signés pour 15 ans renouvelables par périodes de 5 ans.
7. 19 pour les nodules, 7 pour les sulfures et 5 pour les encroûtements cobaltifères. Les surfaces maximales attribuées à l'exploration à chaque contractant sont de 75.000 km2 pour les nodules, 10.000 km2 pour les sulfures polymétalliques et 3.000 km2 pour les encroûtements cobaltifères.
8. 360 millions de km²

Kingston capitale mondiale du Reggae – et des fonds marins.

Le siège de l'Autorité a été établi en 1994 à Kingston, capitale de la Jamaïque, à quelques encablures des ruines englouties de Port-Royal, l'ancienne capitale des pirates des Caraïbes. Ce n'est pas ici le lieu d'en retracer l'histoire[9], mais d'analyser les grands enjeux qui animent les débats au Conseil.

L'organe décisionnel de l'AIFM est le Conseil, composé de 36 membres élus pour 4 ans répartis en 5 « chambres ». Elles regroupent 18 Etats en fonction de leurs intérêts vis-à-vis des minéraux de la Zone[10] (les « intérêts particuliers ») et 18 selon une répartition géographique équitable [11]. La France a été constamment élue au Conseil depuis 1996 dans le groupe des Etats ayant réalisé les investissements les plus importants pour l'exploration de la Zone. Depuis quelques années, l'intérêt des Etats grandissant, des accords de rotation au sein des chambres ont été établis afin de permettre une participation plus large[12]. Le Conseil se réunit habituellement en juillet pour deux semaines mais depuis 2019 il se réunit deux fois par an pour travailler sur le futur cadre juridique post-exploration, et se réunira trois fois en 2022.

Le Conseil prend ses décisions au consensus et est doté de deux commissions d'experts : la Commission Juridique et Technique (CJT), un rouage essentiel de l'Autorité, et la Commission des finances (CF). L'Assemblée, qui réunit tous les 167 Etats membres plus l'Union européenne, élit le Secrétaire général tous les 4 ans.

Qui représente les Etats au sein de l'AIFM ? Les Etats sont représentés par des « représentants permanents », les 25 ambassadeurs bilatéraux accrédités en Jamaïque, dont la France. Pour ces Etats et les autres, la matière étant très spécialisée, toutes les délégations sont aussi composées de diplomates ou d'experts venant des capitales. Pour la France, c'est la Sous-direction du droit de la mer, des fleuves et des pôles, au sein de la Direction des Affaires juridique européennes et internationales du Quai d'Orsay qui suit le dossier et prépare les instructions de la délégation en coordination interministérielle. Un expert français siège aussi au sein de chacune des deux commissions du Conseil[13].

---

9. On pourra se référer utilement aux deux excellents ouvrages de Jean-Pierre Lévy qui en tant que Directeur du bureau du droit de la mer de l'ONU a mis en place l'Autorité : LEVY, Jean-Pierre. *Le destin de l'Autorité Internationale des Fonds Marins*. Paris : Pedone, 2002, 236 p. et LEVY, Jean-Pierre. *Les vingt ans de l'Autorité internationale des fonds marins*. Kingston : AIFM, 2014, 68 p.

10. 4 Etats parmi les plus gros consommateurs ou importateurs des minéraux de la Zone, 4 parmi les principaux explorateurs des ressources, 4 parmi les principaux exportateurs des minéraux de la Zone, 6 parmi les Etats en développement ou particulièrement désavantagés, et 18 selon une répartition géographique équitable.

11. Un 37ème siège « flottant » sans droit de vote est attribué chaque année à un Etat

12. La France est convenue de céder pour un an son siège à un autre Etat de l'UE pour l'année 2023.

13. M. Elie Jarmache à la CJT, qui termine cette année son second mandat, et M. Didier Ortolland à la CF.

Les grandes lignes de partage politiques entre les groupes d'Etats au sein du Conseil

À la répartition des Etats au sein des chambres du Conseil se superpose les classiques groupes régionaux que l'on retrouve dans les organisations internationales, tissant un maillage complexe d'intérêts parfois peu homogènes.

Le WEOG (groupe des Etats de l'Europe de l'ouest et autres), le groupe EEE des Etats de l'Europe de l'Est et le groupe des Etats d'Asie et Pacifique comprennent les Etats les plus engagés dans l'exploration et les technologies concernées. Les Etats du WEOG sont extrêmement vigilants sur la protection de l'environnement. Parmi les Etats d'Asie et Pacifique, un micro-Etat insulaire souhaite se lancer rapidement dans l'exploitation des nodules, tandis que d'autres soutiennent un moratoire. Le groupes des Etats d'Amérique latine et Caraïbes (GRULAC) est aussi divisé entre des producteurs de minerais terrestre qui craignent la concurrence des ressources marines, des Etats opposés à l'idée d'exploitation pour des raisons environnementales, et d'autres qui ont signé des contrats d'exploration. Ce groupe peine d'ailleurs parfois à définir des positions communes. Le groupe des Etats africains est assez homogène dans son attachement à la notion de patrimoine commun de l'humanité et de partage du bénéfice des revenus de l'exploitation.

Les « investisseurs pionniers », le groupe le plus homogène mais informel sans existence officielle, réunit les sept Etats qui les premiers se sont lancés dans l'aventure des nodules polymétalliques et qui ont signé en 2001 les premiers contrats d'exploration : l'Allemagne, la Chine, la Corée du Sud, la France, l'Inde, le Japon, la Russie, auxquels se joint la Pologne au titre d'un consortium des anciens pays du bloc de l'Est. Ils ne s'expriment pas officiellement en tant que groupe constitué mais se consultent régulièrement.

La demi-douzaine d'ONG qui sont régulièrement présentes aux réunions du Conseil sur les 32 observatrices sont de fait parties prenantes du travail de l'Autorité. Elles peuvent non seulement intervenir, formuler des remarques et critiques, mais aussi proposer des amendements de texte. Elles participent ainsi directement à l'élaboration du futur cadre juridique.

La Commission juridique et technique (CJT), mère de toutes les batailles

La CJT est le cœur du réacteur de l'Autorité. Elle est chargée de l'élaboration des règles, règlements et procédures relatives aux activités dans la Zone, qu'elle soumet au Conseil pour amendements et approbation. Elle décortique, avec une attention

particulière sur les questions environnementales, les demandes de plans de travail soumises au Conseil[14] et passe au crible les rapports annuels d'activités des contractants. À travers des ateliers d'experts, elle élabore les plans de gestion de l'environnement (PRGE), qui comprennent des zones interdites à toutes activités.

La CJT suscite un grand intérêt de la part des Etats, qui présentent les candidatures des experts. Elle est passée de 22 membres en 1996 à 30 aujourd'hui[15]. Le Conseil a utilisé cette souplesse offerte par la Convention pour maintenir le consensus et répondre à sa charge de travail croissante. Les membres de la Commission sont élus pour un mandat de 5 ans renouvelable une fois. Ils se réunissent deux fois par an à Kingston pour une durée totale de 4 à 5 semaines. Ils ne sont pas rémunérés par l'Autorité et leurs frais de transport et de séjour sont pris en charge par les Etats qui les ont présentés[16].

La question du renouvellement de la CJT en 2022 est devenue sensible. Le Conseil ne parvient pas à se mettre d'accord sur l'interprétation de l'article 165(1), qui stipule que pour l'élection le Conseil doit tenir dûment compte d'une « répartition géographique équitable » des sièges et d'une représentation des « intérêts particuliers ». Le GRULAC, qui n'est représenté que par 5 membres dans l'actuelle CJT, s'estime lésé en termes de répartition géographique[17]. Le groupe des Etats Africains (AG) considère que les « intérêts particuliers » ne représentent que les Etats en développement particulièrement défavorisés, tandis que le WEOG et le groupe des Etats d'Europe orientale (EEG) estiment que les pays industrialisés explorateurs doivent être aussi dûment représentés au sein de la CJT.

À ces questions politiques s'ajoute celle de la spécialisation des membres, qui force est de constater est déséquilibrée. La CJT comprend aujourd'hui 14 spécialistes des ressources minérales marines, 10 juristes, mais seulement 4 spécialistes du milieu marin, 1 océanologue, et 1 économiste. Les spécialistes de l'environnement en particulier devraient être mieux représentés, ainsi que ceux des technologies marines et de la fiscalité. En effet, une importante partie du travail sur le futur régime juridique porte sur la protection de l'environnement, les mécanismes de contrôle des technologies, ainsi que le régime fiscal et de répartition des bénéfices.

---

14. À ce stade la CJT n'a jamais émis de recommandation au Conseil de rejeter une demande de plan de travail, mais elle demande régulièrement aux futurs contractants de revoir leur copie.
15. La Convention prévoit 15 membres mais ce nombre peut être augmenté en fonction des besoins (art. 163 § 2). Elle est ainsi passée de 22 membres pour la première élection en 1996 à 24 en 2001, 25 en 2006 et 2011, et 30 en 2016.
16. Un fonds de contribution volontaire est prévu pour défrayer les Etats en développement. La France l'a abondé cette année.
17. Il faut toutefois noter qu'en 2016 il avait présenté ses candidats tardivement et en nombre insuffisant.

L'élaboration d'un nouveau cadre juridique, le Graal de l'Autorité

Les trois piliers du régime juridique actuel sont les codes de prospection et d'exploration des nodules polymétalliques (adopté en 2000 et révisé en 2013), des sulfures polymétalliques (adopté en 2010) et des encroutements colbaltifères (adopté en 2012).

L'Autorité a commencée à se pencher sur l'élaboration du règlement devant encadrer d'éventuelles opérations d'exploitation en 2011. En 2013 le Secrétariat a soumis un rapport[18] au Conseil, soulevant les grandes questions à traiter et a produit une étude technique[19]. La CJT a rédigé en 2015 un premier projet de texte enrichi à plusieurs reprises qui constitue aujourd'hui la base des discussions (ISBA/25/C/WP.1). Le Conseil a créé en 2020 quatre groupes de travail informels afin que les Etats et les ONG puissent l'examiner en détail et proposer des amendements.

Les groupes de travail du Conseil, ou « l'atelier diplomatique ».

Le groupe de travail sur les « règles financières des contrats d'exploitation » est le plus politique car il doit établir le régime fiscal et les modalités de redistribution des bénéfices en vue de la mise en œuvre effective du principe de patrimoine commun de l'humanité. À ce stade, quatre modalités de taxation sont à l'étude. Il apparait qu'un système assis sur la valeur des minéraux extraits plutôt que sur les bénéfices des entreprises serait plus simple à administrer. Deux options de taux sont sur la table, un taux fixe et un taux variable (plus faibles dans les 5 premières années) afin de collecter les taxes destinées à abonder le budget de l'Autorité pour lui permettre de remplir ses obligations de gestion et de contrôle des contractants. Le groupe africain veille à écarter un risque de concurrence fiscale excessive aux dépends des Etats producteurs terrestres de minerais. Dans ce cadre est discutée la création d'un fonds de soutenabilité des fonds marins pour financer la recherche scientifique sur l'environnement et le renforcement des capacités, une alternative à la redistribution aux Etats de redevances en argent.

Le partage équitable des bénéfices financiers et non financiers de l'exploitation. L'article 140 de la Convention dispose que l'Autorité assure le partage équitable des avantages financiers et autres avantages économiques des activités dans la zone par un mécanisme approprié, qui n'est pas précisé. Les experts ont travaillé sur des critères croisant le PIB et la population des Etats. Il en résulte que selon les diverses formules

18. *Vers l'élaboration d'un règlement relatif à l'exploitation des nodules polymétalliques dans la Zone*, document ISBA/19/C/15 du 25 mars 2013

19. ISA, 2013, Towards the Development of a Regulatory Framework for Polymetallic Nodule Exploitation in the Area, Technical Study 11, International Seabed Authority, Kingston, Jamaica, 83 p.

envisagées, la Chine et l'Inde figurent toujours parmi les 5 premiers bénéficiaires, alors qu'avec respectivement 5 et 2 contrats d'exploration, ces Etats sont davantage assimilables à des pays développés et scientifiquement avancés qu'à des pays défavorisés. Pour le WEOG, le renforcement des capacités des Etats en développement (stages, formations et accueil dans des programmes de recherche), le régime de protection de l'environnement marin déjà établi, ou la mise à disposition de la communauté scientifique internationale des données de recherche doivent aussi être considérés comme un mode de partage d'avantages non financiers.

Le groupe de travail sur l'inspection et la conformité étudie les mécanismes de contrôle de la conformité des opérateurs au regard de l'environnement, de la sécurité en mer, ainsi que la question de leur responsabilité et de la réparation des dommages à l'environnement. Le projet comprend la création du corps d'inspecteurs prévu à l'article 162 de la Convention et leurs confère des prérogatives étendues.

Le groupe de travail sur les questions institutionnelles étudie l'architecture institutionnelle qui doit permettre le fonctionnement effectif du mécanisme d'approbation et de surveillance des activités des contractants. Le groupe africain demande dans ce cadre l'opérationnalisation de l'Enterprise afin de concrétiser l'idéal redistributif de l'Autorité.

La commission des finances (CF), créée par l'Accord de 1994[20] suscite moins de convoitises que la CJT bien qu'elle joue un rôle important puisqu'elle se prononce sur toutes les décisions ayant des implications financières. Le secrétaire général lui soumet son budget, qu'elle peut amender, et elle en contrôle l'exécution. Elle est chargée de l'élaboration des dispositions financières du futur cadre juridique, notamment des formules de répartition des bénéfices, un volet essentiel de la mise en application du principe de patrimoine commun de l'humanité. Elle comprend 15 membres dont 5 de droit (les représentants des Etats principaux contributeurs), dont la France[21] .

20. Section 9 de l'annexe à l'Accord de 1994
21. Le sous-directeur du droit de la mer, des fleuves et des pôles du Quai d'Orsay y représente la France

La question de l'Entreprise (avec un « E » majuscule).

L'Entreprise est au cœur de la partie XI de la Convention, qui la dote de la personnalité juridique internationale en vue de permettre aux Etats en développement de participer à la mise en valeur des ressources des fonds marins. L'Accord de 1994 l'a mise en sommeil. Les Etats en développement voient en l'Entreprise la matérialisation concrète de l'esprit de redistribution de la Convention et y sont particulièrement attachés. En 2018 un Etat de l'Europe orientale avait manifesté son intérêt pour la création d'une entreprise conjointe avec l'Entreprise mais n'a depuis jamais confirmé. Les Etats africains ont saisi l'occasion pour demander sa mise en opération. Face au coût financier celle-ci s'est limitée à la nomination d'un « Représentant spécial pour l'Entreprise » sans personnel ni administration.

La protection de l'environnement est au cœur de l'activité normative de l'Autorité.

Le groupe de travail sur la protection et la préservation du milieu marin est chargé de cet aspect essentiel du futur cadre juridique. L'article 145 de la Convention dispose que l'Autorité doit prendre les mesures nécessaires pour protéger le milieu marin des activités dans la Zone, y compris dans la colonne d'eau et jusqu'au littoral. Son mandat est donc très large et ne se limite pas au seul plancher des océans. Le régime juridique mis en place par l'Autorité en ce domaine est le plus contraignant concernant les zones au-delà des juridictions nationales, notamment à travers les plans de gestion de l'environnement (PRGE) qui interdisent toutes activités sur de vastes zones. Sans les données environnementales récoltées par les contractants mises à la disposition de la communauté scientifique internationale et les nombreux séminaires organisés par l'AIFM, la connaissance des grands fonds marins serait encore plus lacunaire[22].

Dans le futur cadre juridique, les mesures de protection de l'environnement porteront sur les fonds marins et la colonne d'eau surjacente jusqu'aux littoraux. Les grands fondements en sont le principe de précaution, l'utilisation des meilleures connaissances scientifiques disponibles, la mise en œuvre des meilleurs pratiques environnementales, le principe pollueur-payeur.

Pour renforcer la transparence, toutes les mesures de protection de l'environnement et l'évaluation de leur efficacité seront rendues publiques et soumises à la revue des parties prenantes, Etats et ONG. Les Etats seront tenus de rendre ces règles opérationnelles par leur législation sur les navires et installations de leurs pavillons.

22. L'Autorité a organisé 1 à 2 séminaires scientifiques par an de 2004 à 2013, puis 5 à 7 de 2014 à 2017, et plus d'une quinzaine par an jusqu'en 2020. La période Covid en a ralenti le rythme mais 9 événements ont pu être organisés en 2021 et 6 en 2022. Cela se traduit par la publication de 31 rapports d'études techniques, 17 documents d'information générale, 16 rapports d'ateliers scientifiques, 20 recueils de textes juridiques, 5 recueils sur l'histoire de l'Autorité, tous en ligne (https://www.isa.org.jm/publications)

L'Autorité devra établir des standards et lignes directrices sur les objectifs de conservation, les spécifications techniques des engins, les effets des activités sur l'environnement, etc. La détermination de seuils de déclenchement des mesures de conservation, de mitigation ou d'interruption des activités déterminera le niveau de protection.

Le contractant devra faire une étude d'impact environnemental (EIE) afin d'évaluer les effets de l'activité envisagée (intensité, durée, extension géographique) et les capacités de résilience de l'environnement. Il devra identifier les mesures adéquates pour prévenir et limiter ces effets. Cette étude sera soumise à une expertise scientifique indépendante et à une consultation des parties prenantes, dont les ONG. Sur cette base le contractant établira une notice d'impact sur l'environnement qui devra démontrer que l'activité respecte les standards environnementaux établis.

Le contractant devra établir un plan de gestion et de suivi de l'environnement pour mesurer les effets de l'activité et prévoir les mesures d'atténuation adéquates. Ce plan devra démontrer comment l'activité respecte les exigences du Plan régional de gestion de l'environnement en vigueur sur la zone concernée. La CJT fera une évaluation annuelle rendue publique de ce plan et en cas d'infraction grave aux règles environnementales elle pourra demander au Conseil la mise en demeure du contractant y compris la résiliation du contrat et des pénalités financières.

Le contractant devra planifier la cessation des activités, le démantèlement des installations, la gestion et le suivi des effets de l'activité sur l'environnement, et la remise en état du milieu. Il devra verser avant toute activité une caution environnementale du montant estimé de ces opérations.

Les contractants devront se soumettre à des inspections de leurs installations en mer et à terre. En cas de pratiques présentant un risque pour la vie humaine ou l'environnement l'inspecteur pourra exiger des mesures appropriées allant jusqu'à l'arrêt des activités en cause.

Un fonds d'indemnisation environnemental devra être établi afin de financer la remise en état de l'environnement si un contractant ou un État patronnant fait défaut. Ce fond abondé par les contractants devra aussi financer la recherche sur la restauration des écosystèmes.

Il n'est pas possible ici d'entrer plus en détail sur le travail en cours, très détaillé, et sur lequel le Conseil consacre le plus de temps. Les Etats de l'UE membres du Conseil travaillent pour en renforcer les dispositions afin de s'assurer qu'aucun projet ne respectant pas les normes de environnementales les plus strictes ne puisse être autorisé.

Le Conseil est pleinement conscient de sa responsabilité en la matière, dont dépend l'acceptabilité par la société civile du futur de la mise en valeur des ressources de la Zone, qui ne pourra se faire au détriment de l'environnement.

Les « plans régionaux de gestion de l'environnement » (PRGE) couvriront à terme toutes les zones d'exploration. Le premier, adopté en 2012, couvre la zone de fracture de Clarion-Clipperton dans la Pacifique[23]. Sur l'ensemble de la surface où l'Autorité a délivré des permis d'exploration des nodules, le plan prévoit 13 zones de 1.600 km2 chacune au sein desquelles toute activité est interdite. Quatre nouvelles zones de protection ont été ajoutées en 2021 aux 9 zones initiales afin de renforcer la connectivité et la représentativité des écosystèmes, portant la surface protégée à 1.973.740 km2. Il s'agit des aires marines les mieux protégées au monde au-delà des zones de juridictions nationales. La CJT a terminé la rédaction d'un second PRGE portant sur les sulfures polymétalliques de la ride médio atlantique, qu'elle a soumis en mars 2022 à commentaires. Deux séminaires en 2018 et 2020 ont démarré l'élaboration d'un PRGE dans le pacifique nord-est, d'autres sont en préparation pour définir un PRGE dans l'océan Indien.

Le couperet de la « règle des deux ans » pour l'adoption d'un code minier d'exploitation ? L'annonce a fait l'effet d'une bombe dans le petit monde s'intéressant aux travaux de l'AIFM. Le 25 juin 2021, le micro-Etat insulaire de Nauru déclarait son intention de parrainer une demande d'exploitation des nodules et demandait au Conseil d'adopter un règlement d'exploitation dans un délai de 2 ans en application de la section 1, paragraphe 15 de l'Accord de 1994. Ce texte stipule que si le code minier n'est pas encore adopté au moment du dépôt d'une demande de permis d'exploitation, le Conseil doit l'examiner et l'approuver provisoirement. Depuis l'émotion est retombée car aucun Etat n'a soutenu cette demande. Il existe un consensus au sein du Conseil pour ne pas délivrer de permis d'exploitation provisoire tant qu'un cadre juridique robuste garantissant une utilisation durable et respectueuse de l'environnement des ressources de la Zone n'est pas en vigueur.

---

23. ISBA/17/LTC/7 et ISBA/26/C/58

L'offshore profond, ultime frontière des hydrocarbures

Dr. Nicolas MAZZUCCHI,
Directeur de recherche au CESM

L'histoire du pétrole a commencé à terre. Depuis la Pennsylvanie jusqu'au Caucase russe en passant par la Péninsule arabique, le pétrole puis le gaz sont longtemps apparus comme des ressources terrestres, à l'exploitation facile. Toutefois, à partir du milieu des années 1970, à la suite du Premier choc pétrolier de 1973, le développement de l'exploitation et de la valorisation des hydrocarbures a pris un important tournant maritime. Des côtes mexicaines jusqu'à l'Australie en passant par la Mer du Nord, les mers et océans ont progressivement acquis une place centrale dans le secteur pétro-gazier, au point que celui-ci est maintenant majoritairement tourné vers les mers, pour l'exportation aussi bien que pour l'exploitation. Dans ce contexte, l'épuisement des champs les plus simples en termes de production – le plus souvent à terre – se combine avec les avancées de la technologie, en particulier sous-marine, pour repousser toujours plus au large la frontière de l'exploitation pétrolière et gazière. Inaugurée au milieu des années 2000, la possibilité d'explorer et de produire du pétrole et du gaz dans des champs situés à plus de 1000 m de profondeur a ouvert une nouvelle phase dans l'histoire maritime des hydrocarbures : celle de l'*offshore* profond. Néanmoins, au-delà du défi technologique, le pari de l'*offshore* profond revêt de multiples dimensions, liées pour certaines à la territorialisation de la mer, ces nouvelles zones d'exploitation se trouvant de plus en plus loin des côtes, parfois aux frontières des ZEE. Des zones de tensions apparaissent ainsi, la richesse en ressources agissant comme un catalyseur ou un révélateur de frictions entre acteurs de toutes natures. Le domaine pétro-gazier *offshore* est ainsi marqué par des cycles d'intérêt et des focus régionaux, au gré des tensions géopolitiques, de l'évolution des cours des matières premières ainsi que les soubresauts des transitions énergétiques.

L'exploitation pétro-gazière offshore, une réponse aux chocs pétroliers

Le Premier choc pétrolier introduit un nouveau cycle dans l'économie mondiale, en même temps qu'il ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de l'*oil & gaz*. En effet, la hausse brutale des cours introduit un nouveau seuil de rentabilité d'une part et, d'autre part, impose la nécessité pour les grands acteurs occidentaux, de trouver de nouvelles sources de pétrole, en dehors des pays de l'OPEP. Ainsi les *majors* américano-européennes, entrent elles-mêmes dans un cycle qui s'achève dans les années 1990, avec la fin de la Guerre froide, de repositionnement sur l'ensemble de la chaîne de valeur du puits à la voiture, avec des regroupements et des fusions qui aboutissent au paysage entrepreneurial actuel des *super-majors*. Les descendants de la Standard Oil ainsi que les acteurs européens se regroupent pour être plus puissants et peser face aux pays producteurs mais aussi pour disposer des capacités financières et technologiques nécessaires à des forages en mer, de plus en plus loin des côtes.

Dès la seconde moitié des années 1970, les grandes entreprises occidentales se lancent dans des campagnes d'exploration tout azimut afin de se libérer de l'emprise des pays de l'OPEP. Celles-ci aboutissent au cours des décennies 1970 et 1980, au développement de nouveaux territoires de production, en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Ce développement des territoires hors-OPEP, au-delà d'une logique géopolitique, est également l'héritier des avancées technologiques dans le domaine du forage *offshore*, avec une meilleure rentabilité des exploitations au large. Ces dernières ne sont pas nouvelles puisqu'une partie du pétrole de Californie est déjà à cette époque produit en mer, mais la croissance des forages *offshore* prend une nouvelle dimension, en lien avec des cours du pétrole qui ne cessent d'augmenter – y compris en dehors des chocs de 1973 et 1979 – jusqu'au milieu de la décennie 80. A cette date, les stratégies de diversification des sources de la part des *majors* commencent à porter leurs fruits, inaugurant une période de prix relativement stables jusqu'à la fin du XXe siècle. Depuis cette époque, le pétrole est ainsi porté par le développement continu de l'exploitation dans le domaine maritime, avec une nouvelle géographie qui articule aux côtés du Golfe arabo-persique, le Golfe du Mexique, la Mer du Nord et le Golfe de Guinée comme grands territoires de production et ce jusqu'en Chine, avec l'exploitation de la Baie de Bohai par la CNOOC fondée en 1982. Le pétrole s'inscrit dès lors dans une trajectoire plus maritime que terrestre pour ce qui est des découvertes de nouveaux champs.

Cette situation ne cesse par ailleurs de s'amplifier avec le décrochage lent mais continu d'un certain nombre d'acteurs focalisés sur l'exploitation terrestre comme l'Algérie. En outre, à partir du Premier choc pétrolier, le gaz prend une place croissante aux côtés du pétrole comme grand hydrocarbure de portée mondialesuivant une trajectoire similaire à celle du pétrole, avec quelques décennies de retard. D'abord focalisé sur une exploitation terrestre dans les territoires les plus rentables, le gaz est – au fur et à mesure de la déplétion des champs – devenu une ressource dont la recherche et l'exploitation se font de plus en plus en mer. La dynamique de croissance des prix combinée à l'avancée de la technologie de forage en eaux de plus en plus profondes, ouvrent de nouvelles possibilités en termes de rentabilité et repoussent toujours plus au large la frontière de l'exploitation. Les profondeurs atteintes par certaines exploitations, bien au-delà des 2000 m de fond – inaugurant l'ère du *deep* voire de l'*ultra-deep offshore*, induisent également des nouveaux besoins technologiques pour être en mesure de rechercher, exploiter et entretenir les infrastructures, créant de nouveaux enjeux technologiques.

Une chaîne d'acteurs plus complexe

L'exploitation des hydrocarbures est marquée, à terre comme en mer, par une vision structurée autour de la chaîne de valeur, depuis l'exploration-production jusqu'à la consommation, en passant par le transport, le raffinage et la distribution. Même si le

pétrole et le gaz ont des chaînes de valeur relativement différentes – le transport est bien plus stratégique dans le gaz et le raffinage dans le pétrole – les deux sont marquées par les mêmes enjeux dans le domaine de l'exploration-production : aller plus loin, de manière plus pérenne, en minimisant autant que possible l'ensemble des coûts. À ce titre, l'exploitation *offshore* est emblématique de ces enjeux avec un développement rapide depuis les années 1970, poussée par une nécessité à la fois géopolitique et économique. L'accroissement de la profondeur d'exploitation n'ayant été possible que par des investissements massifs dans les technologies marines liées aux plateformes et aux navires spécialisés. Les acteurs dits parapétroliers comme Technip, Transocean ou Halliburton sont ainsi devenus des fournisseurs de technologies et de services incontournables pour les *super-majors* occidentales aussi bien que pour les compagnies pétrolières nationales. Les parapétroliers sont ainsi le plus souvent les possesseurs de certaines capacités d'exploration comme des navires ou des plateformes spécialisés, à l'image du *Saipem 12000* de l'entreprise italienne Saipem qui a été intercepté par la marine turque en février 2018 alors qu'il entreprenait une campagne de forage au large de Chypre pour le compte d'ENI.

Cette chaîne de valeur reste sous-tendue par un élément central : le prix. Avec une telle multiplicité d'acteurs mettant en œuvre des techniques et des technologies de pointe, la rentabilité de tel ou tel champ devient un enjeu majeur pour la décision de mise en exploitation. Ici, contrairement à l'exploitation onshore des hydrocarbures de roche mère, la production ne peut pas être conduite avec des à-coups d'arrêt-redémarrage au gré de l'évolution quotidienne des cours ; une fois la décision prise, le champ doit produire au risque sinon d'engloutir des montants colossaux. Le montage des consortiums d'exploitation qui associent compagnies nationales, compagnies internationales et parapétroliers est ainsi un enjeu central, donnant lieu à des négociations complexes, peu de champs majeurs sont ainsi aujourd'hui opérés par un seul acteur. La difficulté technique de certains territoires nécessite aussi des montages complexes. Le champ de Kashagan au Kazakhstan est ainsi emblématique, regroupant outre l'entreprise nationale KMG, ENI, Total, Shell, CNPC et ExxonMobil.

Dans le domaine technique, il importe également de voir que de nouveaux besoins apparaissent qui renforcent le positionnement de certains acteurs. Les entreprises de robotique sous-marine sont ainsi emblématiques de cet enjeu de l'*offshore* profond et du déplacement du centre de gravité de la chaîne de valeur. Le domaine pétro-gazier a depuis longtemps été l'un des principaux marchés pour les drones de surface et sous-marins, dans le besoin d'inspections périodiques des installations, en particulier des plateformes de forages. Ainsi les ROV ainsi que les premiers UUV ont été développés pour compléter ou suppléer les plongeurs, notamment dans des environnements très exigeants comme la Mer du Nord. De nombreuses entreprises de robotique ont ainsi pu se lancer grâce aux montants alloués par les acteurs pétroliers

et gaziers dans ces technologies. Il est d'ailleurs intéressant de voir, notamment aux Etats-Unis, que plusieurs entreprises de drones de surface et sous-marins ont évolué vers le domaine militaire – par des rachats d'activité le plus souvent comme pour General Dynamics qui a acquis l'entreprise Bluefin Robotics en 2016 – après avoir débuté dans le secteur pétro-gazier. Les besoins sont en effet relativement proches : capteurs image spécifiques pour la détection d'usure ou de casse, effecteurs pour la réparation/remontée d'objets. Avec les développements pétro-gaziers vers de l'*offshore* de plus en plus en profond, les UUV – voire les AUV – acquièrent une importance grandissante dans la gestion quotidienne des systèmes de production installés sur le plancher océanique. En effet les clusters de têtes de forage qui sont implantées sur des surfaces particulièrement vastes nécessitent une surveillance plus complexe qu'avec un système unique comme c'est le cas dans l'*offshore* côtier.

La nouvelle géoéconomie du pétrole et du gaz offshore

Cette situation dessine une nouvelle carte de l'exploitation des pétroles et des gaz, faisant la part belle aux territoires maritimes. Les découvertes pétrolières et gazières ne se faisant quasiment plus qu'en mer, de nouvelles zones maritimes ont été ces dernières années mises en avant suite à des découvertes majeures, le Brésil en 2006, la Méditerranée orientale entre 2006 et 2018, le canal du Mozambique en 2012-2015, la mer Noire en 2020, la zone Sénégal-Mauritanie en 2019, etc.

A ce propos, les territoires de Méditerranée orientale sont, depuis la fin de la décennie 2000, le symbole de cet espoir économique porté par l'exploitation *offshore* profonde. La découverte des champs israéliens de Tamar en 2006 (1700 m de profondeur) puis Léviathan en 2009 (1500 m de profondeur), toujours plus loin des côtes, a ouvert une période d'intense prospection de la part des pays voisins du bassin levantin, avec les découvertes d'Aphrodite à Chypre (1700 m de profondeur) et Zohr en 2015 en Egypte (1500 m de profondeur). La région est depuis le milieu des années 2010 considérée comme l'un des territoires les plus prometteurs pour l'exploitation gazière *offshore*, en particulier à destination des marchés européens. Toutefois, l'extension des zones de prospection en limite des ZEE a rouvert des disputes internationales (Chypre-Turquie, Israël-Liban) ou créé des tensions en lien avec l'exploitation de la ressource (Chypre-Israël). La situation entre Chypre et la Turquie notamment a engendré un fort niveau de tension, impliquant d'autres acteurs comme la Grèce, l'Italie ou la France, entre 2018 et 2020. L'enjeu lié à des ressources potentiellement très importantes – les découvertes israéliennes ont fait basculer le pays d'importateur de gaz à potentiel exportateur régional majeur – a ainsi relancé l'escalade diplomatique et parfois militaire, en lien également aves des investissements technologiques. La compagnie nationale pétro-gazière TPAO a ainsi fait le choix d'acheter 3 navires de forage

pour être en mesure de conduire ses propres campagnes, sans le recours à des acteurs parapétroliers, du moins dans les zones les moins complexes. Au-delà de la question de l'exploitation de ces ressources, se pose également celle de leur exportation. Dans ce domaine, la nature du fond marin est également une donnée à prendre en compte, en particulier en Méditerranée orientale où le coût du gazoduc sous-marin EastMed entre Chypre et la Grèce est lié à la complexité géologique du fond. Alors qu'un gazoduc comme NordStream avait bénéficié de la relative facilité de pose au fond de la Baltique, EastMed pourrait ainsi ne jamais voir le jour à cause des coûts induits par la géographie. Toutefois les promesses de l'*offshore* ultra-profond doivent encore se concrétiser dans de nombreux endroits. Le Brésil notamment est emblématique de ces espoirs – partiellement déçus – d'une explosion de l'exploitation en *offshore* ultra-profond. L'histoire pétrolière du Brésil est ainsi marquée par une succession d'espoirs plus ou moins déçus, dont le dernier d'entre eux a lieu au milieu des années 2000. Poussé par la vague de croissance des prix du pétrole dans les années 1990, le Brésil, au travers de son entreprise d'Etat Petrobras, choisit d'investir une bonne partie des profits dégagés dans de grandes campagnes d'exploration *offshore*, notamment en regard des découvertes qui ont lieu à cette époque dans le Golfe de Guinée. Le recours à des entreprises parapétrolières occidentales avec un financement très généreux à l'époque, permet de découvrir les ressources des bassins de Santos et de Campos qui – à l'époque – offrent un espoir au Brésil de devenir une des futures grandes puissances pétrolières mondiales. Néanmoins l'explosion de « l'affaire Petrobras » en 2013 met fin brutalement à ces espoirs. La législation pétrolière brésilienne, révisée en 1997, oblige les entreprises étrangères à s'associer à Petrobras à au moins 40% pour l'exploitation en *offshore* profond – pre-sal en portugais – permettant à l'entreprise d'Etat de demeurer l'acteur central de chaque bloc. Dans un premier temps, l'ensemble des *super-majors* occidentales et des grands acteurs chinois se montrent intéressés et les premières enchères se présentent sous les meilleurs auspices, jusqu'à ce que le retournement brusque des cours du pétrole en 2013 n'induise une crise économique importante au Brésil, surinfectée par la révélation de la corruption généralisée au sein de Petrobras, utilisée comme une caisse de redistribution au profit de la quasi-totalité des partis politiques du pays. Les enchères qui suivent en 2014, marquées par une situation économique et politique très dégradée, se révèlent particulièrement décevantes et permettent à la Chine de se positionner comme le principal acteur étranger pour le futur de l'exploitation brésilienne. Depuis cette date, les promesses des champs de Santos et Campos, sont restées au stade de l'espoir.

Toutefois, les récentes évolutions mondiales, liées à la guerre en Ukraine pourraient redonner au Brésil ainsi qu'à d'autres territoires, un attrait particulier, dans la recherche effrénée de fournisseurs alternatifs à la Russie. En effet, le besoin rapide de diversification, combiné à une hausse brutale des cours du pétrole et du gaz, attire

mécaniquement le regard vers les zones de ressources qui étaient considérées depuis le milieu des années 2010 comme peu intéressantes dans un contexte de prix dépréciés. De fait, l'Amérique latine, l'Afrique mais aussi la Méditerranée orientale – territoires où les découvertes se font toujours plus au large – pourraient être les grands bénéficiaires de cette mise au ban de la Russie.

Conclusion

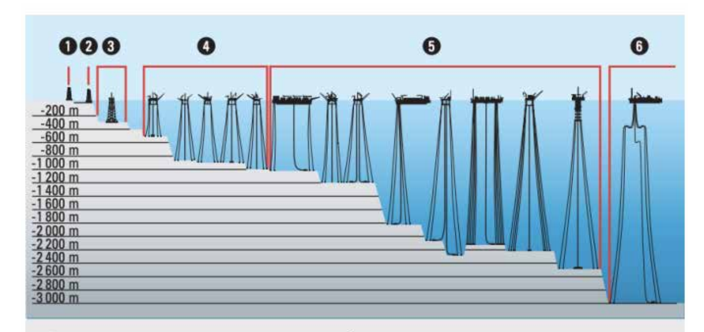
L'aventure du pétrole et du gaz qui avait majoritairement commencé à terre, se poursuit depuis le dernier quart du XXe siècle en mer. L'avancée technologique, le rapport entre prix du baril et coût d'exploitation, le besoin de trouver de nouveaux territoires, sont autant d'éléments qui aujourd'hui font de la mer le milieu privilégié du pétrole et du gaz au niveau mondial. Aucun continent n'échappe à cette situation, si ce n'est l'Antarctique ; en bonne partie d'ailleurs car il est jusqu'en 2049 au moins protégé de l'exploitation commerciale.

Le pétrole et le gaz sont ainsi maintenant exploités toujours plus profondément, ce qui implique aussi le plus souvent toujours plus loin des côtes. Alors que les premières exploitations *offshores* ne se faisaient d'à quelques mètres des côtes, c'est aujourd'hui en dizaines de kilomètres que l'on évalue les distances entre la rive et le navire d'exploitation. Ainsi la possibilité de produire du pétrole et du gaz de plus en plus loin, avec un bon niveau de rentabilité, vient parfois réveiller des rivalités géopolitiques plus ou moins enfouies, redonnant une nouvelle acuité à la question de la territorialisation de la mer. Avec des forages qui ont parfois lieu en bordure de ZEE, la possession de tel territoire ou l'exclusivité de son exploitation prennent une signification nouvelle, y compris dans un contexte géopolitique global en pleine tension, en particulier avec la guerre entre la Russie et l'Ukraine.

Même si aucun conflit n'a jamais eu lieu exclusivement pour des questions de ressources, il faut néanmoins prendre en compte le rôle de catalyseur que peuvent prendre d'importants gisements d'hydrocarbures, surtout pour des pays particulièrement dépendants des approvisionnements extérieurs. La Méditerranée orientale, avec ses nombreux soubresauts, a démontré ces dernières années que la découverte d'importantes ressources pouvait offrir autant de bénéfices que de malédictions.



Champ d'éoliennes offshore. © *Hans Hillewaert.*



❶ **1896** — première installation *offshore* aux États-Unis en bord de côte (Californie)

❷ **1947** — première plate-forme installée au large (29 km) aux États-Unis : 6 mètres de profondeur

❸ **Années 1960-1970** — premiers développements réels de l'*offshore* (plates-formes fixes) : 200-300 mètres de profondeur

❹ **Années 1980-1990** — vrais développements en masse à la suite des chocs pétroliers : 500-1 000 mètres de profondeur

1982 — création de la compagnie pétrolière chinoise CNOOC, première entité spécifiquement dédiée à la production *offshore*

❺ **Fin des années 1990** — accélération technologique et nouveaux types de navires de forage pour les eaux très profondes (systèmes semi-fixes, SPAR, etc.) : 2 500 mètres de profondeur

❻ **Milieu des années 2000 à aujourd'hui** — exploration-production en eaux ultra-profondes (FPSO) : 3 000 mètres de profondeur

Ressources minérales

Jean-Louis LEVET

Ex Conseiller Spécial pour la Stratégie nationale d'exploration et d'exploitation des grands fonds marins [1] *(Secrétariat général de la mer, SGMer, placé auprès du Premier ministre)*

1. Cet article s'appuie en particulier sur la synthèse publique du rapport de mission de Jean-Louis Levet, S*tratégie nationale d'exploration et d'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins. Bilan et orientations : pour une nouvelle dynamique*, remis au SGmer et au Premier ministre, juillet 2020. Ce rapport de mission a bénéficié des travaux réalisés au sein du groupe « Stratégie des grands fonds marins », constitué et animé par J.L. Levet, regroupant l'ensemble des acteurs publics et privés concernés.

« La vie sous l'eau est essentielle à la vie sur terre », déclarait le 8 juin 2020, Antonio Guterres, le Président de l'Assemblée générale des Nations Unies, à l'occasion de la Journée mondiale des océans. La question de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins est ainsi à situer dans ce contexte global, en lien avec la décennie des sciences de l'océan pour le développement durable proclamée par les Nations Unies qui a démarré en 2021, et par conséquent avec la perspective d'une gouvernance internationale des océans.

Après avoir rappelé brièvement ce que sont ces ressources minérales (I), nous les resituerons dans le contexte des modes de croissance et de développement de l'économie mondiale (II). La compréhension des enjeux devient une nécessité (III). Les fonds marins font l'objet d'une attention croissante des Etats qui mettent en œuvre des stratégies adéquates qui questionnent le positionnement de la France (IV). Une mobilisation nationale commence à se créer autour de ces questions (V). La question de la gouvernance de l'action publique et son renouvellement se pose (VI).

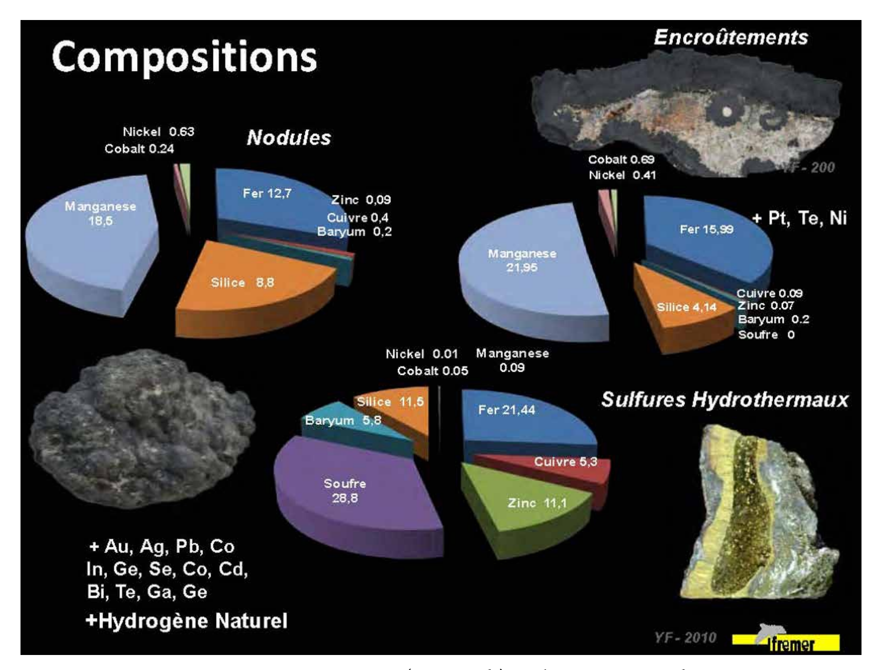
Les ressources minérales des grands fonds marins : de quoi s'agit-il ?

Concernant ces grands fonds et la présence de ressources minérales, trois types de minéralisation sont connus (cf la figure 1 ci-après) :

- Les nodules polymétalliques, présents dans les plaines abyssales à des profondeurs allant de 4000 à 6000 mètres, riches en fer et en manganèse avec des métaux valorisables qui seraient plutôt le manganèse, le nickel, le cuivre et le cobalt.

- Les encroûtement cobaltifères qui se situent à la surface des monts sous-marins et se forment directement à partir des métaux présents dans l'eau de mer, avec le cobalt comme substance principale et présentant aussi des teneurs significatives en métaux précieux (platine) et métaux rares (terres rares, zirconium, tellure). Ils ont été découverts à des profondeurs allant de 400 à 4000 mètres.

- Les amas sulfurés, dont la présence est liée à une activité hydrothermale. Ils sont situés dans des profondeurs allant de 1000 à 5000 mètres, dans des zones volcaniques et tectoniques actives comme les dorsales océaniques. Ils sont riches en zinc et en cuivre, mais peuvent aussi présenter de fortes teneurs en métaux précieux (or et argent) et en métaux rares. Cependant, seuls les sites inactifs sont les sites d'intérêts potentiels en tant que ressource minérale.



IFREMER - Concentrations (% en poids) en éléments majeurs dans les minéralisations des grands fonds océaniques.

Cette question de l'exploration et de l'exploitation des grands fonds marins est à situer dans le contexte d'évolution des modes de croissance, de développement et d'innovation technologique de l'économie mondiale.

Les ressources minérales sous-marines et la nécessité d'un nouveau modèle de développement

Les dynamiques mondiales à l'œuvre en termes d'industrialisation, de croissance démographique, d'urbanisation se traduisent par une consommation de ressources fossiles toujours plus importante. L'urbanisation devrait ainsi concerner les deux-tiers de l'humanité d'ici 2040, avec plus de 40 mégapoles de plus de 10 millions d'habitants contre 10 en 1990. Les classes moyennes devraient quant à elles atteindre plus de 80% de la population mondiale au même horizon : leurs choix de vie sera déterminant pour la soutenabilité des modes de développement[1].

1. Michel Camdessus, *Vers le monde de 2050,* Fayard, 2017.

Certes, comme le rappelle Olivier Vidal, « malgré une croissance exponentielle de la consommation observée depuis plus d'un siècle, les réserves en métaux n'ont jamais été aussi élevées qu'aujourd'hui ». Le progrès technologique permet d'exploiter de nouvelles ressources, même de moins bonne qualité, mais à coût constant. Cependant, poursuit-il, « cette tendance donne la trompeuse impression que la croissance perpétuelle est possible. Trompeuse, car par essence, une croissance éternelle de notre consommation de ressources n'est pas possible dans un monde fini la Terre »[2]. Et de souligner un point capital : « le problème est qu'une croissance à taux constant implique une accélération de l'activité. Une augmentation de 3% par an de la production de métaux implique un doublement de cette production tous les vingt ans »[3].

Si l'on s'en tient à demain, c'est-à-dire 2050-2060, nous savons d'ores et déjà que si l'on ne change rien, la consommation mondiale de matières premières passera de 85 milliards à environ 180 milliards de tonnes, avec une population qui devrait augmenter de 2,5 milliards d'habitants[4].

L'auteur montre aussi, et c'est un autre point clé pour notre sujet, la complexité de l'économie des métaux, même s'il faut rappeler que les géologues ne voient pas d'épuisement géologique des métaux avant 2050. La difficulté voire l'impossibilité de faire des prévisions en raison des nombreuses inconnues est une réalité : l'évaluation des ressources et des réserves, la concentration des métaux dans les gisements, la capacité à exploiter ces réserves (financements, technologies, stabilité de la zone géographique, disponibilité de l'énergie et de l'eau, acceptabilité sociale), les progrès ou les changements technologiques, l'offre et la demande, la capacité à recycler. Autrement dit, c'est une navigation à vue permanente alors que les investissements miniers terrestres sont en général colossaux (de 100 à plusieurs centaines de millions de dollars).

Prendre en considération le temps long est donc un impératif.

La transition énergétique [5] nécessite un besoin accru en diverses ressources minérales, comme le montrent plusieurs rapports produits par des institutions aussi différentes que la Banque Mondiale, l'OCDE, le Groupe international des experts sur les ressources, ou la Commission européenne. Le recyclage est mis en avant, comme une solution permettant de réduire cette consommation de matières premières. Mais comme cela a

2. Olivier. Vidal, « Ressources minérales, progrès technologique et croissance », Temporalités, 28/2018.
3. O. Vidal, *op.cit*. 2018.
4. Rapport OCDE, *Global Material Ressources Outlook to 2060.*
5. La France par exemple, dans son plan Climat, s'est fixée comme objectif d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

été montré[6], le recyclage ne peut s'approvisionner que sur les déchets générés et dans un contexte de demande croissante forte qui produit de fait plus de demande que de déchets collectables : par conséquent, le recyclage ne pourrait représenter au total qu'une part très limitée de l'approvisionnement. De plus, toutes les matières ne peuvent être recyclées. Ainsi dans le cas du smartphone, 50 métaux le constituent, mais moins de 10 sont actuellement recyclés, soit parce qu'ils sont présents en quantité infinitésimale, soit parce qu'ils sont inséparables, car agglomérés entre eux. Ainsi, à rester dans notre modèle de croissance linéaire (« extraire, fabriquer, jeter »), le recours à de l'extraction minière semble incontournable, et ce, quels que soient les scénarios[7].

L'on comprend alors les initiatives prises pour promouvoir un nouveau modèle de développement autour du concept d'économie circulaire.

Ainsi, La Commission européenne a présenté en 2020 son plan d'action sur l'économie circulaire : produits durables, plastique, déchets, avec un ensemble d'actions proposées pour développer la durabilité des produits dans des activités clés de l'Union, comme celles du plastique, du textile, de l'électronique, des batteries, de la construction et de l'alimentation. De même, en France, la transition vers une économie circulaire est reconnue officiellement comme l'un des objectifs de la transition énergétique et écologique et comme l'un des engagements du développement durable.

Même si cette perspective peut sembler encore lointaine au niveau mondial, la priorité doit être d'abord de limiter l'usage des métaux à la fois par la technologie (efficacité matière par l'éco-conception) mais également par des habitudes de consommation différentes : économie de la fonctionnalité, arrêt de l'obsolescence marketing et de l'obsolescence programmée, réparabilité, durabilité, recyclabilité et par une augmentation du recyclage des métaux.

Pour autant, comme nous le soulignions plus haut, l'incertitude est telle, qu'il convient toujours de privilégier des stratégies d'anticipation plutôt que des stratégies d'adaptation. Et donc de se doter d'une vision claire des enjeux.

Des enjeux globaux et en interrelations fortes

Quelle que soit la situation mondiale dans les vingt ans qui viennent, les grands enjeux que nous présentons dans l'encadré ci-après demeureront. Enjeux éthiques

6. Jean-François Labbé (BRGM), « Les limites physiques de la contribution du recyclage à l'approvisionnement en métaux », in Responsabilité et Environnement, avril 2916, numéro 82.
7. A. Geldron (ADEME), « Panorama des enjeux associés à l'offre des matières premières », in « Transition énergétique et ressources minérales, les défis à relever », Actes du séminaire du 9 avril 2018.

liés au “comment vivre?” des populations actuelles et des générations à venir, les plus importants donc, qui nécessitent de prendre en compte les enjeux environnementaux. Enjeux scientifiques, technologiques, sociaux-économiques, géopolitiques, juridiques et de gouvernance mondiale sont tous aussi déterminants. A fortiori dans ce nouveau siècle de plus en plus d'inspiration mercantiliste, avec le retour en force et la domination des Etats aptes simultanément au commerce, à l'excédent collectif et à la puissance souveraine.

Les enjeux liés à l'exploration et à l'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins

Enjeux environnementaux

Partant du constat que les mines exploitables sont rares et ponctuelles dans l'espace (Ex : à terre, une mine est exploitée pour une centaine d'indices découverts), l'exploration des grands fonds pour rechercher des ressources apportera des connaissances sur de vastes domaines qui ne seront jamais exploités du point de vue minier. L'exploration des ressources devrait ainsi dynamiser la connaissance de la biodiversité et permettre de définir des zones à protéger, sous forme de zones de références ou d'Aires Marines Protégées (AMP), afin de garantir le juste équilibre entre préservation et exploitation. Les données acquises seront également fondamentales pour les études d'impact des exploitations et de préservation des environnements.

Enjeux scientifiques

La connaissance des fonds marins fondée sur l'exploration scientifique est incontournable pour trouver les zones minéralisées et comprendre les processus de transfert et de concentration des métaux. L'exploration est également indispensable pour comprendre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes afin de les préserver et contrôler l'action d'autres pays ou des industriels en cas d'exploitation. Autre enjeu scientifique, la compréhension des positionnements des populations face à l'usage des espaces marins auxquels ils sont liés, comme par exemple dans le Pacifique (Wallis et Futuna, Polynésie française, Nouvelle-Calédonie).

Enjeux techno-économiques et sociaux : à deux niveaux

Macro-économique, avec une contribution potentielle au développement économique du pays et forts enjeux territoriaux pour nos territoires insulaires ; produire des ressources pour l'économie française et européenne ; développer une offre française/européenne technologique (exploration, exploitation, surveillance environnementale, etc) et de services para-minier.
Micro-économique : développement d'une filière industrielle, faisabilité technologique et rentabilité économique restent à démontrer ; nécessite de lourds investissements des opérateurs industriels et un soutien public

Enjeux de puissance

Pour l'accès, dans les décennies à venir, aux matières premières minérales (métaux de base et métaux rares) à l'échelle mondiale. Ceci est à replacer dans un contexte de concurrence, à terre et en mer, avec les pays émergents à forte croissance (Chine, Inde, ...). Il convient également de souligner les enjeux de valorisation de notre ZEE de 11 millions de km2 (2ème mondiale). Le contexte économique et géopolitique montre la nécessité pour l'avenir de multiplier et de diversifier les sources d'approvisionnement en métaux. La taille de notre ZEE est un atout pour cette diversification.

Enjeux de gouvernance et juridiques

L'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM), a mis en place des législations spécifiques dans les eaux internationales, pour les Nodules (2000), les Sulfures (2011) et les Encroûtements (2012). Un cadre juridique pour l'exploitation est en cours de construction. Dans un domaine d'une telle importance, le multilatéralisme, avec l'AIFM, est un impératif.

Face à ces enjeux, les Etats sont de plus en plus présents. Qu'en est-il aujourd'hui du positionnement de la France?

Le positionnement français : des atouts négligés, face à une montée en puissance rapide des Etats dans les grands fonds marins.

Dans un contexte mondial où l'emprise des Etats sur les grands fonds marins ne cesse de croître, la France a su se créer des atouts majeurs et reconnus, mais qu'elle a négligés ces dernières décennies.

► Une forte et rapide montée en puissance des Etats

Une forte montée en puissance des Etats est à l'œuvre dans le domaine des grands fonds marins, tant internationaux (« La Zone ») que ceux relevant de leurs zone économiques exclusives (ZEE). Sur la période 2011-2019, 21 permis d'exploration ont été attribués dans les eaux internationales par l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM) et 30 au total en 2020. On y trouve aussi bien des pays européens (France, Allemagne, Royaume-Uni avec 2 permis chacun, Belgique, Pologne), asiatiques (la Chine à elle seule en a 5, l'Inde, le Japon, la Corée du Sud, Singapour), le Brésil, la Russie, et des petits Etats insulaires du Pacifique Sud.

Au sein de l'AIFM, se déroule un jeu complexe des Etats avec une grande diversité des intérêts en présence. Toutefois aucun d'entre eux ne remet en cause le principe de l'exploration en cours et la perspective à terme de l'exploitation.
L'analyse des stratégies comparées des Etats dans le monde montre que ceux-ci se répartissent en quatre catégories : (1) ceux qui ont un fort intérêt géostratégique et de sécurité d'approvisionnement, notamment la Chine, qui a développé une stratégie globale et ambitieuse en la matière; (2) ceux pour lesquels l'approvisionnement de l'industrie en métaux constitue la principale priorité, comme le Japon, très en pointe dans le domaine technologique et soucieux de diversifier ses approvisionnements, la Corée du Sud ou encore l'Allemagne et les Etats-Unis, qui tiennent à assurer l'avenir de

leurs industries ; (3) les Etats qui ont surtout un intérêt de développement économique, tels que l'Inde qui se concentre sur les technologies d'extraction adéquates, le Brésil qui s'arme pour maîtriser ses importants espaces maritimes, la Norvège alliant intérêt scientifique et intérêt économique ; (4) enfin les Etats d'abord soucieux d'acquérir des connaissances, comme l'Australie, la Nouvelle-Zélande ou encore le Danemark.

▸ France: des atouts majeurs mais négligés

La France, de par son engagement de longue date dans l'exploration des grands fonds marins, s'est dotée d'atouts majeurs, sur lesquels cependant elle s'appuierait trop peu pour mettre en œuvre une stratégie nationale dans le domaine des grands fonds, comme par exemple la qualité reconnue de ses opérateurs de la recherche, l'existence d'un ensemble industriel, de formation, de compétences techniques, son engagement dans la prise en compte des enjeux environnementaux, la grande diversité des faciès géologiques présents dans sa vaste ZEE, la deuxième au monde, juste derrière celle des Etats-Unis, et devant celles respectivement de l'Australie, de la Russie, de la Nouvelle-Zélande et de la Grande-Bretagne (cf carte en annexe).

L'absence d'un projet global pour l'Océan et les grands fonds ne peut qu'accentuer un lent recul de la France dans ce domaine par rapport à d'autres Etats très engagés. Une relative dispersion des acteurs de la recherche et de l'industrie, des relations inégales entre la sphère publique et les opérateurs industriels, le manque d'actions communes structurées au niveau européen doivent aussi être soulignés. Pourtant les opportunités sont de taille, a fortiori dans la situation difficile post-covid 19 et de rapports de force de plus en plus prégnants sur l'échiquier mondial des Etats, avec par exemple un levier formidable de développement économique et social pour les Outre-mer, la possibilité de fédérer les acteurs de la recherche et de l'industrie autour de projets ambitieux, et d'ouvrir des perspectives enthousiasmantes pour la jeunesse qui en a tant besoin (cf l'encadré ci-après).
Une nouvelle étape est engagée à la fin de l'année 2019 : le président de la République, lors des Assises de la Mer à Montpellier, annonce que « 84% de nos minerais sont dans nos océans, formidables réservoirs de recherche, de matières premières dont il nous faut organiser à la fois la connaissance et l'extraction de manière compatible avec les autres activités, avec la recherche et la préservation de la biodiversité ». En novembre 2017, le Premier ministre avait déjà mis en avant dans son intervention au Havre, à l'occasion des Assises de la Mer, une meilleure connaissance des grands fonds : « (...) Et comme la

Exploration/exploitation minière des grands fonds marins

Le positionnement actuel de la France

7 atouts majeurs

• Importance de la ZEE de la France et grande diversité de faciès géologiques.
• Expérience reconnue au niveau international et capacités des opérateurs concernés.
• Existence d'un ensemble industriel, de formation et de compétences techniques de qualité.
• Crédibilité au niveau mondial par son engagement environnemental.
• Partenaire très apprécié dans les coopérations internationales existantes.
• Présence active de la France au sein de l'AIFM au service d'une approche multilatérale.
• Existence d'une marine militaire pour sécuriser des actions d'exploration.

4 faiblesses notables

• Absence de projet global pour les GFM et stratégie des matières premières et des mines peu visibles.
• Lent recul dans le domaine des eaux profondes, par rapport à des Etats aux stratégies d'exploration et de sécurisation de leurs approvisionnements en matières premières.
• Une relative dispersion des acteurs de la recherche et de l'industrie, des relations inégales entre sphère publique et opérateurs industriels.
• Une absence d'action coordonnée entre membres de l'Union européenne directement concernés.

6 opportunités importantes

• Levier de développement économique et social pour les Territoires des Outre-mer.
• Possibilité de fédérer des acteurs de la recherche et de l'industrie et de construire des coopérations avec des opérateurs européens.
• Besoins mondiaux en métaux en forte augmentation à long terme quel que soit le scénario de développement.
• La question des GFM contraint à prendre en compte le long terme.
• Une politique publique des GFM peut contribuer à conforter l'influence de la France dans le monde.
• Consolider le multilatéralisme par le biais de l'AIFM.

4 facteurs majeurs de risques/menaces

• Opinion publique et autorités publiques (européenne/nationale) insuffisamment informées des enjeux liés à la protection et aux ressources de la mer et des débats publics souvent peu raisonnés.
• L'affaiblissement de l'AIFM et de son cadre protecteur pour l'environnement pourrait favoriser une exploitation anarchique des ressources minérales des grands fonds.
• Très faible connaissance des impacts environnementaux de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales profondes
• Dépendance forte à venir à l'égard d'Etats aux stratégies globales dans les grands fonds marins.

France, ce n'est pas 20 000 lieues mais 11 millions de kilomètres carrés sous les mers, je souhaite qu'on mette l'accent sur l'exploration de nos grands fonds marins (...).

Une mission est mise en place fin 2019 pour proposer une stratégie nationale de l'exploration et de l'exploitation des ressources minérales des grands fonds marins. Son rapport est remis au SGMer en juillet 2020. Au cours du Comité Interministériel de la mer (CIMER) de janvier 2021, ses analyses, priorités et projets sont retenus par le Premier ministre, pour une mise en œuvre immédiate.

Une stratégie nationale à la hauteur des enjeux autour de quatre priorités

Le plus grand défi mondial que constitue le changement climatique, les liens étroits entre Océan et Climat, les fonctions majeures que remplit l'Océan, justifieront de plus en plus dans le futur et justifient d'ores et déjà, que soit réalisé un effort considérable dans la connaissance des grands fonds marins : c'est la première priorité. Il s'agit aussi de bien connaître les impacts environnementaux liés à l'exploration et surtout à l'exploitation éventuelle des ressources minérales des grands fonds : c'est la deuxième priorité.

La troisième concerne la compréhension des enjeux que nous avons présentés brièvement plus haut et leurs liens pour une approche globale équilibrée et engager dans le même temps un nouveau partenariat avec les COM et une stratégie multipartenaires aux niveaux européen et mondial. Enfin, l'implication des sociétés, des populations, dans les choix éventuels en matière d'exploration et d'exploitation et la nécessité d'une gouvernance participative sont impératives : cette quatrième priorité est essentielle.

Mettre en œuvre dans la durée une stratégie nationale, ses priorités et ses projets correspondants dans le même temps, avec son plan d'action nécessite enfin une gouvernance de l'action publique renouvelée.

Le défi d'aujourd'hui : construire une véritable gouvernance de l'action publique

Le pilotage au plus haut niveau de cette stratégie au cours de l'année 2021 a connu quelques sérieuses difficultés, entraînant au sein de l'ensemble des acteurs concernés, de l'incompréhension et une perte de temps précieux dans la mise en œuvre des projets

et des partenariats avec d'autres pays.

Il faut évidemment en tirer avec lucidité des enseignements et garder le cap. C'est le cas avec « France 2030 » et le Comité Interministériel de la Mer (CIMER) de mars 2022. La question du mode de gouvernance de l'action publique est la question majeure aujourd'hui et plus globalement pour l'action gouvernementale relative au développement technologique et industriel de notre pays. D'ailleurs c'est un point sur lequel le président de la République a fortement insisté lors de son discours relatif à la présentation de « France 2030 » le 12 octobre 2021. En particulier en mettant en avant l'esprit de « commando » dans l'action publique et la nécessité de définir des règles de gouvernance efficaces pour traduire dans les faits les objectifs de France 2030, dont celui relatif aux fonds marins.

Au moins trois principes d'action doivent fonder une gouvernance de l'action publique au plus haut niveau.

▸ Inscrire les projets dans une démarche globale avec un plan action dans la durée. Dans un domaine aussi important pour la connaissance et pour le développement humain à venir, un pays ne peut se contenter de financer des projets au coup par coup, en fonction de ceux qui sont proposés via par exemple des appels à projets, car le sens de l'action collective se perd pour les acteurs et plus globalement pour les populations qui doivent être intégrées le plus en amont possible dans les processus de réflexion et de décision. De plus, sans cohérence d'ensemble, les liens élaborés entre projets ne se traduisent pas dans les faits et ne se renforcent pas les uns les autres.

▸ S'appuyer sur la dynamique collective qui a été construite

Une stratégie partagée, et un plan d'action mis en œuvre avec rigueur permettent de bénéficier d'une dynamique collective qui a été construite lors de l'élaboration de la stratégie en question et nous produisons ainsi une image claire : les autres savent ce que nous voulons faire. Sans clarté des objectifs, du sens de la durée, la confiance n'est pas possible pour monter des coopérations indispensables dans ce domaine. Ces coopérations avec des pays comme par exemple en Europe l'Allemagne, la Norvège, le Portugal pour ne citer qu'eux, ou encore dans le Pacifique, avec par exemple l'Inde, la Corée du sud ou le Japon sont vitales dans une mondialisation où la brutalité des rapports de force tend à l'emporter sur le partenariat. Où l'approche multilatérale est un effort de chaque instant, portée en particulier par l'Union européenne et la France dans des instances internationales concernées par les grands fonds marins telles que l'AIFM

▸ Une culture et une pratique de l'évaluation

Une évaluation des processus en cours, des projets en cours d'élaboration est indispensable à la réussite d'une stratégie. Il faut être capable de fermer des voies qui se révèlent sans issue, d'en ouvrir d'autres, tout en tenant le cap. Un vrai changement de pensée et de mode d'action dans notre pays où règne la culture du contrôle.

En guise de perspectives

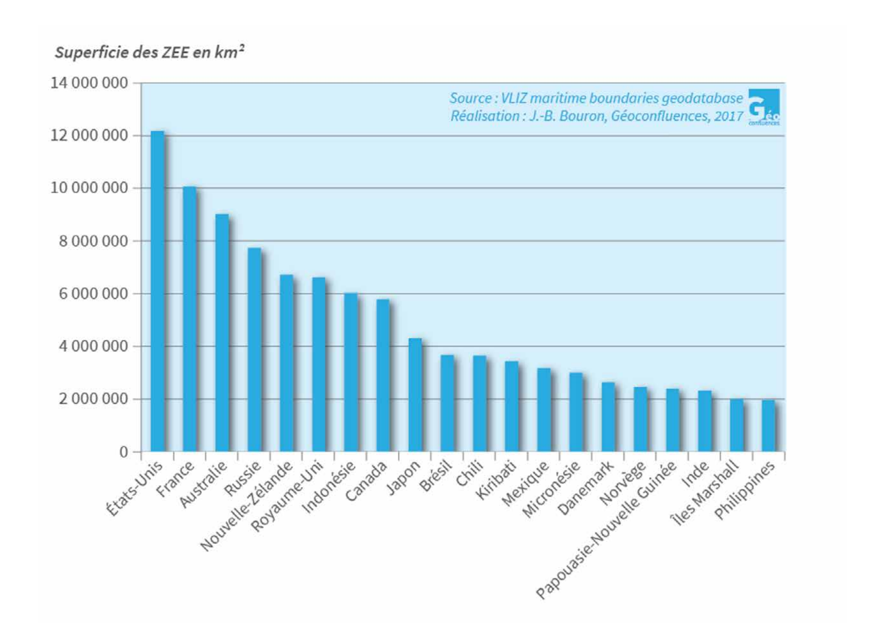
Avec le recentrage américain sur ses intérêts stricts où les alliés européens ne sont considérés que comme des vassaux, une Chine conquérante dont « le désir de puissance a fini par occulter celui de redevenir une authentique civilisation[8], une dictature russe sans le moindre scrupule, la terrible crise sanitaire, sûrement pas la dernière, qui a mise à nu nos vulnérabilités en particulier en matière d'innovation et de désindustrialisation à l'œuvre depuis plusieurs décennies,[9] les expressions considérées il n'y a pas si longtemps comme désuètes, tels « politique industrielle », « autonomie stratégique », « enjeu de souveraineté » qui se pose bien entendu aussi au niveau européen, reviennent. Elles commencent ainsi à prendre forme avec le programme France 2030, qui donne un peu de profondeur aux mesures d'urgence et au plan de relance de l'économie.

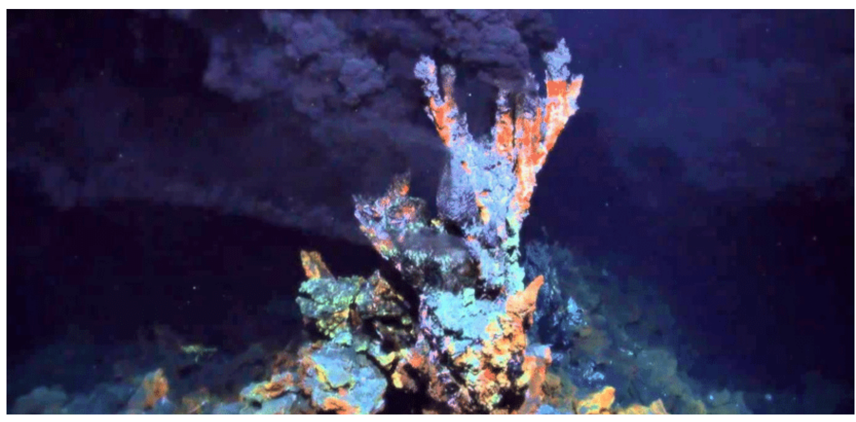
Ces expressions reviennent enfin, avec le principe de réalité : la spécialisation d'un pays ne peut être laissée aux seules forces du marché ; le mode de gouvernance de l'action publique se pose alors de façon criante. Il n'est pas trop tard pour le construire par apprentissage rapide. Et ainsi construire une culture et une pratique de l'anticipation collective à la place d'une culture et d'une pratique de l'adaptation sous contrainte et d'une gestion au coup par coup.

Alors impliquer les populations de nos territoires métropolitains et d'outre-mer devient une évidence dans les grands choix à faire demain : en particulier exploiter ou pas. S'y préparer, même si demain nous n'y allons pas. Mais dans l'un ou l'autre cas, nous le ferons en connaissance de cause et donc de façon responsable.

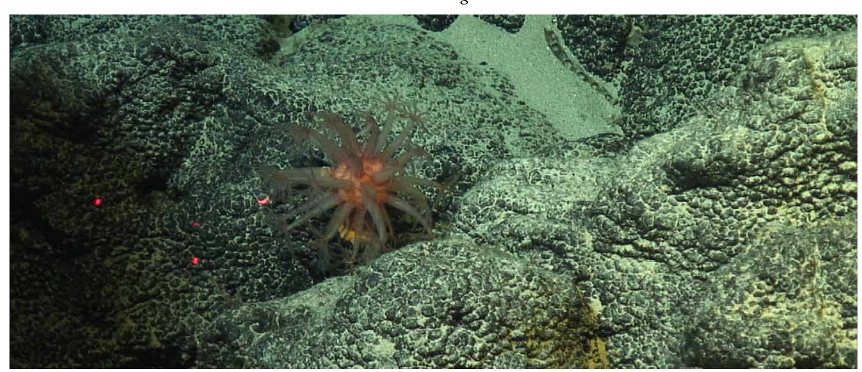
8. Anne Cheng (sous la dir.de), *Penser en Chine*, p.28, Folio, 2021.
9. Jean-Louis Levet : *Pas d'avenir sans industrie, Economica, 2003 / Réindustrialisation j'écris ton nom*, Editions Jean Jaurès, 2012

Annexe : tableau relatif à la superficie des 20 premières ZEE dans le monde





Cheminée hydrothermale riche en métaux et sulfures
©www.researchgate.net



Dépôts de cobalt ferrugineux
©www.oceanexplorer.noaa.gov



Modules polymétalliques
©www.ifremer.fr

Le numérique des grands fonds : des rapports de force en devenir ?

Camille MOREL
Chercheuse associée à l'Institut d'études de stratégie et de défense (IESD) et au Centre d'études stratégiques de la Marine (CESM)

Depuis les années 2010, les câbles de communication qui parcourent le fond de nos océans suscitent un regain d'intérêt de la part des Etats. Dès 2013, Edward Snowden révélait au monde que des captations massives de données étaient réalisées par les services de renseignement américains et britanniques à partir des câbles sous-marins, faisant craindre l'existence d'une « surveillance mondiale».[1] Depuis 2014, c'est la présence régulière de bâtiments océanographiques russes à proximité de câbles sous-marins qui inquiète les pays membres de l'organisation du traité de l'atlantique nord (OTAN), voyant ces agissements comme une menace potentielle pour l'intégrité et la sécurité de leurs infrastructures vitales[2]. En avril 2022, une attaque informatique survenue sur l'île d'Hawaï, qui visait des équipements nécessaires à la transmission du flux de données par câbles sous-marins et aurait été stoppée à temps par le Département de la sécurité intérieure américain[3], a rappelé la vulnérabilité de ce réseau, tant du point de vue physique que cyber.

Appartenant à la fois au domaine maritime et numérique, les câbles sous-marins se trouvent pris en étau entre, d'un côté, la montée de la compétition navale entre les Etats et, de l'autre, la place grandissante des questions technologiques et cyber au sein des relations internationales. Ainsi, la pression qui s'exerce sur les câbles et conduit à leur politisation croissante sur la scène internationale devrait s'accentuer dans les prochaines années : la militarisation des fonds marins et la diffusion de technologies capables d'agir en profondeur renouvellent en effet la menace d'une action offensive sur les câbles et l'immixtion des Etats dans ce secteur économique.

Mise à l'agenda du sujet dans les enceintes internationales

La question des câbles sous-marins est aujourd'hui portée dans diverses enceintes multilatérales. Dès 2010, l'OTAN publiait un document de prospective indiquant que la prochaine attaque significative contre l'alliance pourrait survenir sur un câble sous-marin de fibre optique[4]. Depuis 2017, les déclarations et textes évoquant le sujet ne cessent de se multiplier, jusqu'à conduire le conseil de l'Atlantique Nord, réunit au niveau des ministres de la défense des pays membres en octobre 2020, à mettre à l'agenda la question de la protection de ces infrastructures.

1. Observatoire du monde cybernétique, *Rapport trimestriel*, 2013, p 30.
2. OTAN, *Secretary General Press Conference Jens Stoltenberg following a meeting of the North Atlantic Council with the National Security Advisers and Hybrid Points of Contact,* 2020.
3. HawaiiNewsNow "HSI Agents Stop Cyberattack on Hawaii Submarine Cable", *Subtel Forum*, 13 avril 2022, accessible en ligne : https://subtelforum.com/hsi-agents-stop-cyberattack-on-hawaii-submarine-cable/.
4. OTAN, NATO 2020: *Assured Security, Dynamic Engagement. Analysis and recommendations of the group of experts on a new strategic concept for NATO,*17 mai 2010.

Du côté des Nations Unies, trois entités traitent désormais de problématiques relatives aux câbles sous-marins. Le sujet est évoqué par la conférence intergouvernementale « BBNJ [5]», chargée de rédiger un instrument juridique contraignant pour la préservation de la diversité marine dans les zones ne relevant pas des juridictions nationales[6]. Par ailleurs, la question de la protection des câbles fait l'objet depuis janvier 2021 d'un groupe de travail associant la direction Afrique de l'Est de l'Office des Nations Unies contre les drogues et le crime et la Commission de l'océan Indien. Ces lignes de communication font enfin l'objet d'un groupe d'action mixte établi par l'Union internationale des télécommunications (UIT) en partenariat avec l'organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM) qui vise à développer des câbles « intelligents » sur le globe, c'est-à-dire des câbles sous-marins de communication qui permettraient d'étudier l'environnement marin, le réchauffement climatique et prévenir les catastrophes naturelles telles que les tsunamis[7].

Dans le cadre de l'Union européenne, c'est sous les aspects de souveraineté numérique et de résilience des infrastructures critiques que le sujet est abordé. A l'occasion de la présidence française de l'Union européenne, un conseil des ministres européens chargés du numérique et des communications électroniques s'est notamment réuni, le 8 et 9 mars 2022, pour évoquer la résilience des infrastructures et réseaux de communication en Europe ainsi que la protection du cyberespace européen. Les Etats membres avaient déjà, en 2021, signé une déclaration commune – « *Data Gateway* » – dans laquelle ils s'étaient engagés à améliorer la connectivité globale de l'Europe, notamment par câbles sous-marins. Plus récemment, une étude a été publiée sous l'égide du Parlement européen, cherchant à analyser les risques pesant sur ce réseau[8].

Mais les Etats s'attachent également à renforcer la protection de ces infrastructures critiques au niveau national. Ils activent pour cela divers leviers : ils établissent de nouvelles réglementations et procédures administratives, soutiennent les entreprises du domaine et augmentent leurs échanges avec l'industrie, développent des capacités d'action sur le réseau et son contenu ou encore mettent en place des coopérations avec d'autres Etats. Certains gouvernements adoptent cependant des politiques publiques plus offensives, qui méritent une attention particulière.

---

5. ONU, *Biodiversité marine: la quatrième session de la « Conférence BBNJ » sur le droit de la mer, à New York du 7 au 18 mars 2022, poursuit les négociations sur un instrument juridique, MER/2138*, 7 mars 2022.

6. Une concertation entre les acteurs des ressources minérales et de l'industrie du câble a notamment eu lieu sous l'égide de l'Autorité internationale des fonds marins (AIFM) afin d'assurer la coexistence de ces deux activités dans la Zone internationale des fonds marins. Autorité Internationale des Fonds Marins, *ISA and ICPC to hold second workshop on deep seabed mining and submarine cables*, 11 octobre 2018.

7. Houlin Zhao, "Foreward" of the Secretary general of the International Telecommunication Union, in Submarine Telecom Forum Analytics, *Submarine Telecom Industry Report*, Issue 8, 2019-2020, p 7.

8. Christian Bueger, Tobias Liebetrau, Jonas Franken, « Security threats to undersea communications cables and infrastructure. Consequences for the EU », *European Parliament Coordinator*, Policy Department for External Relations Directorate General for External Policies of the Union, PE 702.557, juin 2022.

Une menace russe ?

La Russie s'intéresserait de près, depuis 2014, aux infrastructures sous-marines de l'OTAN. C'est ce que le commandant de la force sous-marine a affirmé publiquement en décembre 2017[9], mentionnant la présence répétée de bâtiments sous pavillon russe à proximité des câbles[10], en particulier le navire de recherche océanographique *Yantar*, exploité par le ministère de la Défense russe[11]. Celui-ci aurait fait plusieurs passages dans l'Atlantique Nord en 2015, plus précisément aux alentours du Golfe de Gascogne et le long de la côte Est américaine[12]. Plus récemment, il aurait été identifié à plusieurs reprises au large de la France et de l'Irlande[13].

La Russie disposerait par ailleurs de sous-marins spécifiquement dotés pour effectuer des travaux en eaux profondes. Il s'agirait d'anciens sous-marins à propulsion nucléaire de la classe Delta III qui auraient été modifiés pour emporter des mini-sous-marins et effectuer des études sur les fonds marins, par l'intermédiaire de bras articulés. Elle aurait disposé également, jusqu'en juillet 2019, d'un sous-marin atypique, à propulsion nucléaire[14] de type AS31, (aussi appelé Losharike) pouvant agir en profondeur[15]. La Russie chercherait également à développer certaines capacités, telles que celles de détecter et repérer, de suivre ou d'endommager les câbles en mer[16].

Alors même que la Russie n'est reliée que par un faible nombre de câbles sous-marins et qu'elle ne dispose pas d'une industrie compétente en la matière, plusieurs éléments semblent aujourd'hui crédibiliser cette menace. La Russie a, dans le cadre de l'invasion de l'Ukraine en mars 2022, agit activement dans le cyberespace, en particulier en s'attaquant aux infrastructures physiques d'internet[17]. Le pays tente également, en parallèle, de s'isoler de l'Internet mondial[18] : une loi votée en novembre 2019[19]

---

9. "Russian Submarines Are Prowling Around Vital Undersea Cables. Its Making Nato Nervous", *Washington Post,* 22/12/2017.
10. Notamment en Scandinavie et dans l'Atlantique. Voir Rishi Sunak, *Undersea Cables, Indispensable, Insecure,* Policy Exchange, décembre 2018, p 7.
11. Direction pour la recherche en eaux profondes (GUGI).
12. David E. Sanger, Eric Smith, "Russian Ships near Data Cables are too close for U.S. Comfort", *New York Times*, 25 octobre 2015.
13. "Is Russia Cutting US Underwater Sonar Cables Near Tartus?", *StalkerZone,* 18 octobre 2016.
14. Marine Benoit, « Ce que l'on peut dire du mystérieux sous-marin nucléaire russe dans lequel ont péri 14 hommes », *Sciences et avenir,* 05/07/2019.
15. « Le Losharik, ce mystérieux sous-marin dans lequel sont morts 14 marins russes », *La voix du Nord*, le 03/07/2019.
16. C'est la raison pour laquelle, en 2019, le Royaume-Uni aurait élargi son contrôle des exportations aux biens et équipements capables d'opérer en dessous de 1 000 m de profondeur ayant ces fonctionnalités, afin d'en limiter l'acquisition par la Russie.
17. Le gouvernement russe n'a pas hésité à mettre à mal les capacités de communications internationales des occidentaux par cet intermédiaire, s'attaquant notamment à des serveurs.
18. Julien Nocetti, « Le contrôle par la loi : les autorités russes et Internet », Stéphane Taillat éd., *La Cyberdéfense. Politique de l'espace numérique*. Armand Colin, 2018, pp. 175-181.
19.Merrit Kennedy, "New Russian Law Gives Government Sweeping Power Over Internet", *NPR*, 1/11/2019.

prévoyait notamment que soient mises en place les mesures techniques et légales nécessaires pour parvenir à créer une forme de souveraineté numérique[20]. Au mois de mars 2022, cette hypothèse a été actée pour la première fois à travers plusieurs décrets officiels émanant du ministère des communications russes.

La montée en puissance de la Chine

La Chine, quant à elle, a drastiquement augmenté sa part d'investissements dans le marché entre 2015 et 2019[21]. Les documents de stratégie chinoise sur les « routes de la soie » (BRI)[22] évoquent le rôle du numérique et des câbles sous-marins dans les axes d'influence portés par le pays. Ces projets d'investissements massifs d'entreprises ou de banques chinoises dans des infrastructures, notamment à travers l'Asie et l'Afrique, s'accompagnent en effet d'un volet maritime et digital[23] qui comprennent des projets de câbles[24].

L'industrie chinoise des câbles, dont l'importance ne cesse de croître, semble ainsi soutenue par son gouvernement. L'entreprise Huawei Marine Networks, qui jusqu'en 2019 était une filiale directe de l'opérateur Huawei, est ainsi soupçonnée d'entretenir des liens étroits avec Pékin[25]. Conséquence : de nombreux pays ont banni l'entreprise pour l'exploitation de leurs réseaux de 5ème génération pour motifs de sécurité nationale. Alors que la filiale consacrée aux câbles sous-marins restait jusqu'à présent relativement épargnée par cette orientation politique, l'entreprise a, dans plusieurs projets récents de câbles sous-marins devant desservir des pays anglo-saxons (Etats-Unis, Australie notamment), été rejetée à son tour du processus de sélection.

Les entreprises chinoises développent par ailleurs une politique commerciale plus agressive que les concurrents en matière de câbles sous-marins. Des prix attractifs leur permettent progressivement de conquérir de nouveaux marchés. Ainsi, Huawei Marine aurait répondu à l'appel d'offres pour le projet *East Micronesia Cable* avec

20. Pour protéger la Russie d'un dysfonctionnement de l'Internet mondial, cette loi exigeait notamment des opérateurs qu'ils installent certains logiciels capables, en cas de crise, de suivre, filtrer, et rerouter les accès au contenu des utilisateurs. Plusieurs « tests » à grande échelle auraient d'ailleurs été réalisés en 2019 pour en montrer l'effectivité de ces mesures techniques.
21. Major Michael Seng Chan, Republic of Singapor navy, "The undersea cauldron: China's Rising Challenge to U.S. Undersea Dominance", *The Submarine Review*, December 2018, pp 7- 23, p15.
22. « Digital Silk Road ».
23. CCI Paris Île de France, *Les nouvelles routes de la Soie, enjeux et opportunités économiques*, 2019.
24. Sabena Siddiqui, "BRI, BeiDou and the Digital Silk Road", *Asia Times*, 10 avril 2019.
25. Assemblée Nationale, *Rapport fait au nom de la commission d'enquête chargée d'examiner les décisions de l'État en matière de politique industrielle, au regard des fusions d'entreprises intervenues récemment, notamment dans les cas d'Alstom, d'Alcatel et de STX, ainsi que les moyens susceptibles de protéger nos fleurons industriels nationaux dans un contexte commercial mondialisé*, 19 avril 2018.

une proposition près de 20 % moins chère que ses concurrents ASN et NEC[26]. Cette stratégie pourrait conduire, à terme, à une mainmise du géant chinois sur des territoires isolés, notamment dans l'Océanie et plus largement dans l'Indopacifique. La Papouasie Nouvelle-Guinée dispose ainsi notamment d'un câble domestique fabriqué par l'industriel, le *Kumul Domestic Submarine Cable System* et l'Indonésie de deux depuis 2018, le *Mataram Kupang Cable System* (MKCS) et le *Palapa Ring Middle* (2018). Si la capacité des répéteurs fabriqués par l'entreprise se limitait jusqu'à présent à l'installation de lignes sous-marines sur de courtes distances, certains câbles récents et à venir – en association avec des acteurs reconnus du milieu – permettent à l'entreprise d'avoir de premières références sur des câbles plus « longs ». C'est le cas du câble *SAIL*, installé en 2018 entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, et du câble *Peace*, installé en 2020 entre le Pakistan et la France, qui permet, en collaboration avec l'opérateur Orange, de relier la Chine à l'Europe et à une partie de l'Afrique de l'Est, et dont un prolongement vers l'Asie est déjà proposé.

La Chine investit par ailleurs dans le développement de drones sous-marins : elle détient des records de plongées, ses technologiques associant profondeur et durée, et a également fait ses preuves dans l'emploi de drones à des fins de collecte de données et de retransmission instantanée vers des infrastructures à terre. Mais la Chine est également capable de déployer un réseau de surveillance utilisant des senseurs à partir des câbles sous-marins[27], à l'image de ce que proposaient les Etats-Unis avec leur réseau SOSUS. L'armée chinoise disposerait par ailleurs, depuis 2015, d'un navire câblier militaire[28].

La contre-offensive américaine

Comme pour la technologie de la 5G[29], les Etats-Unis s'inquiètent du rôle croissant joué par des entreprises chinoises dans le domaine des câbles sous-marins[30,31]. Face à ces risques, Washington restreint l'accès de certaines entreprises à son territoire et à certaines destinations pour les nouveaux projets commerciaux de câbles. Leur *Team Telecom*, institution dédiée à la revue des projets de câbles, a notamment bloqué le projet *Pacific Light Cable Network* (PLCN) qui devait relier le continent Américain

26. J. Barrett, « U.S. Warns Pacific Islands about Chinese Bid for Undersea Cable Project – Sources », *Reuters*, 17 décembre 2020.
27. Major Michael Seng Chan, Republic of Singapor navy, "The undersea cauldron: China's Rising Challenge to U.S. Undersea Dominance", *The Submarine Review*, December 2018, pp 7- 23, p 15.
28. "PLA Army's new able-laying ship starts service", *China Military Online*, 27 Mars 2015.
29. Leur loi d'autorisation de la Défense nationale (NDAA), a notamment empêché en 2018 les entreprises chinoises Huawei et ZTE d'entrer sur leur marché en matière de technologie de la 5G.
30 « Banni des antennes françaises, Huawei dans les startingblocks pour revenir par les câbles », *Intelligence Online, n° 862*, 7 octobre 2020.
31 Mathilde Velliet, "Convince and Coerce: U.S. Interference in Technology Exchanges Between its Allies and China", *Étude de l'Ifri*, Ifri, February 2022.

à Taïwan, aux Philippines et à Hong Kong[32] du fait de l'implication d'une entreprise chinoise aux côtés de Google et Facebook[33]. D'autres acteurs chinois sont par ailleurs visés par cette politique industrielle : un communiqué officiel indiquait en mai 2019 le refus d'accorder des autorisations à l'opérateur China Mobile USA pour la gestion de communications entre les Etats-Unis et des pays étrangers, du fait des liens qu'il entretiendrait avec le gouvernement chinois[34].

Les Etats-Unis font également pression sur les « alliées ». Des rencontres informelles avec les différents services étrangers ont été organisés ces dernières années afin de sensibiliser les alliés des américains sur les risques identifiés par Washington à l'égard des firmes chinoises et plus généralement sur les enjeux liés aux câbles sous-marins. Ils financent par ailleurs des projets de câbles alternatifs : dans l'indopacifique, une coopération avec l'Australie et le Japon a ainsi conduit au financement d'un projet de câble sous-marin concurrent à celui chinois. Huawei Marine Networks avait en effet fait une proposition pour le projet *East Micronesia Cable*, dont la vocation était d'améliorer la connectivité entre plusieurs îles de Micronésie. Les Etats-Unis avaient cependant, en fin d'année 2020, fait part au gouvernement local de leurs préoccupations au regard de l'éventuelle participation d'entreprises chinoises, poussant le gouvernement à ne pas donner suite au projet, et prévoient de financer un nouveau câble, reliant Kosrae, Nauru à Kiribati[35].

Les Etats-Unis agissent par ailleurs de manière offensive. Des démarches d'acquisition d'actifs détenus par des entreprises européennes du numérique ont notamment été envisagées comme celle du fournisseur de centres de données Interxion[36] ou la compagnie de communication Nokia, qui sont directement en lien avec l'activité des câbles sous-marins [37]. Par ailleurs, la place croissante occupée par les géants du numérique dans le marché des câbles sous-marins, tels que Google et Meta, est un levier au service de la puissance américaine : alors qu'elle était inférieure à 10 % avant 2012, la part des fournisseurs de contenus dans la capacité totale des câbles sous-marins était estimée à plus de 65 % en 2020.

Depuis 2016, le gouvernement américain possède des câbles « d'Etat » : c'est le cas du *GTMO-1* qui relie la Floride à Cuba (Guantanamo), et, depuis le mois d'avril

32. Pierre Manière, « Les Etats-Unis songent à bloquer un projet de câble sous-marin vers Hong Kong », *La Tribune*, 09/11/2019.

33. Marc Harris, "Google and Facebook turn their backs on undersea cable to China", *Tech Giants*, le 06/02/2020.

34. « China Mobile USA is a Delaware corporation that is ultimately owned and controlled by the People's Republic of China", in *FCC news*, Denies China Mobile Usa ApplicationTo Provide Telecommunications Services, mai 2019.

35. « Joint Statement on Improving East Micronesia Telecommunications Connectivity », *Département d'État américain,* 11 décembre 2021.

36. « Marseille, prochain hub de câbles sous-marins et de data centers américains ? », *Intelligence Online*, 29/01/2020.

37. Elsa Bembaron, « Les américains veulent racheter Nokia et Ericsson », *Le Figaro*, 6 février 2020.

2019, du *GTMO-PR* qui relie la baie de Guantanamo à l'île de Porto Rico. Le pays dispose également de moyens propres pour aller réparer ces lignes sous-marines[38]: *l'US Navy* détient notamment un navire câblier, l'*USNS Zeus*. Une loi de 2019 visant la réquisition de navires appartenant à des entreprises privées en temps de crise pour des besoins militaires permet par ailleurs à l'Etat américain de soutenir sa flotte industrielle de câbliers via son champion national TE Subcom[39]. La loi de Finance pour 2020[40] prévoyait quant à elle l'établissement d'une flotte de navire en charge de la « sécurité des câbles », essentiellement composée de navires commerciaux répondant à des critères de sécurité précis (pavillon, nationalité des équipages, etc.).

Et la France ?

Le gouvernement français, de son côté, agit sur plusieurs fronts pour faire face aux différents enjeux portés par les câbles. Sur le volet juridique, la loi n° 2019-810 du 1er août 2019 visant à préserver les intérêts de la défense et de la sécurité nationale de la France dans le cadre de l'exploitation des réseaux radioélectriques mobile a permis d'alourdir les sanctions pénales applicables aux dommages causés aux câbles sous-marins[41]. Une instruction émanant du secrétaire général de la Mer, publiée en 2020, visait par ailleurs à améliorer l'attractivité du territoire national – métropolitain et outre-mer – dans le but de renforcer la résilience de la société et de l'économie française. Grâce à un décret de 2017, relatif à la mobilisation de la flotte stratégique[42], les navires câbliers sont considérés comme des bâtiments susceptibles d'assurer, en temps de crise, la sécurité des moyens de communications, services et travaux maritimes indispensables, ainsi que de compléter les moyens des forces armées[43]. Dès lors, les communications par câbles constituent une « filière stratégique » dont il est nécessaire d'assurer l'intégrité, la sécurité et la continuité pour les besoins généraux de la Nation.

Du point de vue économique, la France assure d'ailleurs un suivi de ses leaders sur le marché, dont son fleuron industriel, Alcatel Submarine Networks (ASN), à la fois fabricant et poseur de câbles. Elle met également en œuvre une politique de financement de nouveaux câbles par projet, au travers d'appels d'offres, dans l'optique de mieux connecter ses territoires isolés. Le plan d'investissement France Très Haut

38. US Navy's Military Sealif Command, Ship Inventory, Cable Laying/repair Ship.
39. proposition de loi H.R.2500, National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2020
40. HR 2500 "An Act to Authorize Appropriations for Fiscal Year 2020 for Military Activities of the Department Of Defense", aussi appelé "National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2020", 9 octobre 2019.
41. Article 2 de la loi n° 2019-810 du 1er août 2019 visant à préserver les intérêts de la défense et de la sécurité nationale de la France dans le cadre de l'exploitation des réseaux radioélectriques mobiles : « Le livre II du code des postes et des communications électroniques.
42. Décret n° 2017-850 du 9 mai 2017 relatif à la composition et à la mise en œuvre de la flotte à caractère stratégique, pris pour l'application de l'article L. 2213-9 du code de la défense.
43. Article L. 2213-9 du code de la défense.

Débit avait dans ce sens donné lieu, en 2017, à un appel à projet visant la continuité territoriale numérique dans les outre-mer. Piloté par l'Agence du Numérique, il attribuait 50 millions d'euros pour améliorer la connectivité internationale des habitants des territoires ultra-marins, y compris par câbles sous-marins[44].

Enfin, la récente stratégie ministérielle de maîtrise des fonds marins[45] marque un tournant dans la prise en compte par l'Etat de la protection des câbles. Elle officialise la nécessité pour le ministère des armées de se doter d'équipements et matériels lui permettant de sécuriser les infrastructures présentes dans le fond, à la lumière de ses autres grands compétiteurs. Si la France dispose aujourd'hui de moyens d'intervention limités, détenus par la CEPHISMER, l'IFREMER et le SHOM, et que des programmes sont en cours (capacité hydrographique et océanographique future et système de lutte anti-mines du futur), la stratégie ministérielle veille à accroître les capacités de recherche, de surveillance et d'intervention sous la mer pouvant aller jusqu'à 6 000 mètres de profondeur[46].

Un défi d'avenir

À la lumière de ces quatre cas d'étude, nous comprenons que le réseau de câbles sous-marins pose, au XXIe siècle, deux principaux enjeux aux Etats : celui de sa protection et de sa maîtrise. Ces enjeux ne sont pas prêts de se tarir. L'essor des « technologies de la donnée » telles que l'informatique en nuage[47], la cinquième génération des réseaux mobiles (5G) et les objets connectés favorisent tout d'abord notre consommation globale de données[48], qui, à son tour, a un impact direct sur le développement des câbles sous-marins dans le monde. À titre d'exemple, l'introduction des vidéos à la lecture automatique sur les réseaux sociaux, comme sur Facebook[49] dès 2007, avait déjà multiplié significativement la demande en capacité sur les câbles sous-marins[50]. Par ailleurs, la numérisation du maritime conduit progressivement à une interconnexion croissante des domaines et plateformes entre eux : ces échanges permanent de données en mer exigeront une sécurisation toujours plus complexe des flux d'informations. Les câbles sous-marins représentent donc un défi d'avenir pour les Etats.

---

44. Ministère des outre-mer, « L'État mobilise 50 millions d'euros pour la continuité territoriale numérique des Outre-mer », publié le 19/06/2017.
45. Ministère des armées, Stratégie ministérielle de maîtrise des fonds marins, février 2022.
46. En particulier, la technologie devra aider à la détection et la classification d'objets de faibles dimensions situés par grands fonds (engin offensif, dispositif d'écoute, senseur déporté), par des moyens sous-marins (AUV, ROV) dotés de capteurs.
47. Rapport "*The State of the Network*", Telegeography, 2019.
48. Submarine Telecom Forum Analytics, *Submarine Telcom Industry Report*, Issue 7, 2018-2019.
49. Devenu Meta en octobre 2021.
50. Elizabeth Rivera Hartling, « Submarine Upgrades », Subsea Fiber Optic Communication Summer School, 5-9 août 2019, Finlande, Google.



Pose d'un câble sous-marin par le navire câblier Chamarel. © *Orange Marine*

ROYAUME-UNI
SUÈDE
ÉTATS-UNIS
CHINE
ESPAGNE
FRANCE
ITALIE
OCÉAN PACIFIQUE
OCÉAN PACIFIQUE
OCÉAN ATLANTIQUE
OCÉAN INDIEN

La vulnérabilité des pays à une « coupure internet »

Nombre de cables sous-marins directement reliés au pays

0 | 1-4 | 5-9 | 10-14 | 15-19 | > 20

LES 300 CÂBLES SOUS-MARINS DE L'INTERNET MONDIAL

L'infrastructure mondiale des communications

- Câbles sous-marins en service
- Projet de câbles sous-marins
- Points de jonction des câbles avec la terre

La Terre est bleue, Atlas de la mer au XXIe siècle, Cyrille P. Coutansais, Les Arènes 2015

L'arme sous-marine

Amiral (2s) Pierre-François FORISSIER,
Ancien chef d'état-major de le la marine (2008-2011), membre de l'Académie de Marine

L'historique

• Les Origines

Les premiers sous-marins, très rudimentaires et à propulsion humaine sont apparus lors de la guerre d'indépendance américaine (*Turtle*, testé en 1776). En 1800, la France en construit un conçu par Robert Fulton, le *Nautilus* . Elle abandonne les essais en 1804, tout comme les Britanniques qui avaient été aussi démarchés par Fulton.
`

La guerre de Sécession voit apparaître les premières utilisations de sous-marins au combat. L'*Alligator*, en partie de conception française, est le premier sous-marin de l'US Navy. Les Confédérés en ont utilisé plusieurs.

Le premier sous-marin à propulsion mécanique est le *Plongeur* de la Marine française, lancé en 1863, et équipé d'un moteur à air comprimé.

En 1869, Jules Verne publie *Vingt mille lieues sous les mers* avec son héros le capitaine Némo, inventeur du sous-marin *Nautilus*, plus avancé que tout ce qui existe à cette époque, mais qui s'inspire largement du *Plongeur* français en utilisant l'électricité.
En 1885, une équipe américano-suédoise développe une série de sous-marins à vapeur d'une soixantaine de tonnes qui seront vendus en Grèce, en Turquie et en Russie

• La propulsion électrique

En 1884, un inventeur polonais conçoit le premier sous-marin à propulsion électrique qui sera suivi, en 1886, par le *Purpoise* de conception britannique.`

L'Espagnol Isaac Peral conçoit en 1888 le premier sous-marin opérationnel. Il possède deux torpilles et une architecture préfigurant les sous-marins futurs. Sa vitesse en plongée atteint 10 nœuds mais son autonomie reste très faible.

En France, le *Gymnote* lancé le 24 septembre 1888 est également un sous-marin tout électrique. Il sera suivi par la suite du *Morse* en 1899, puis de la série des quatre *Farfadet* en 1901. La distance franchissable passe à 100 Nautiques.

• Le début du XXe siècle

Le développement s'accélère avec l'émergence de nombreuses technologies et l'adoption de sous-marins par de nombreuses marines. La propulsion Diesel-électrique devient le système prédominant et certaines innovations, comme le périscope, se généralisent.
En 1895, l'inventeur irlandais John Philip Holland conçoit des sous-marins qui, pour

la première fois, utilisent un moteur thermique en surface et des batteries en plongée ; certains sont achetés par les Etats-Unis, d'autres par le Royaume-Uni, la Russie et le Japon.

En 1900, le sous-marin français *Narval* introduit le concept de double coque. La France est alors la première marine à avoir une véritable force sous-marine. Ses sous-marins de 200 tonnes ont un rayon de plus de 100 Nautiques en plongée. Le sous-marin français *Aigrette*, en 1904, améliore encore ce concept en passant de l'essence au diesel. 76 sous-marins de ce genre sont terminés avant 1914.

De nombreuses expériences sont faites par les différentes nations pour définir les tactiques et les armes sous-marines.

• La Première Guerre mondiale

C'est pendant la Première Guerre mondiale que les sous-marins ont pour la première fois un impact significatif : les premiers affrontements ont lieu dès le mois de septembre 1914. Les U-Boot allemands et austro-hongrois intensifient leurs attaques au cours de la bataille de l'Atlantique en 1917 : ils utilisent de nouvelles tactiques et possèdent une remarquable vélocité. Plus, au sens moderne, des submersibles que de véritables sous-marins, ils opèrent principalement en surface, plongeant uniquement pour l'attaque.

• L'entre-deux guerres

De nouveaux types apparaissent dont les porte-avions sous-marins, équipés d'un hangar étanche et d'une catapulte pour de petits hydravions. Le premier exemple est le HMS M2 britannique, suivi par le *Surcouf* français, et d'autres dans la Marine japonaise.

L'Allemagne parvient à conserver une grande partie de sa flotte en dépit des traités de paix : des sous-marins, construits illégalement dès 1926 dans des pays étrangers, sont livrés en pièces détachées.

• La Seconde Guerre mondiale

Dans le Pacifique, la sous-marinade japonaise connait un échec cinglant et ne parvient que très rarement à menacer les voies de ravitaillement américaines. Mal équipés, trop peu nombreux et utilisant des tactiques inadaptées, les sous-marins japonais subissent des pertes sévères : 149 sous-marins coulés sur un total de 241. Les marins japonais ont également recours à la tactique des Kamikazes, en embarquant des torpilles habitées dites Kaiten. Vers la fin de la guerre, malgré l'aide technologique allemande, la modernisation de la flotte sous-marine japonaise est trop tardive pour renverser la

tendance. Les Japonais compensaient l'infériorité de leurs sous-marins grâce à la torpille Type 93 « Long Lance » à propulsion à oxygène qui était à la fois rapide et à grande portée mais bruyante et dangereuse.

Les Etats-Unis avaient probablement la plus mauvaise torpille, la Mark 14 à vapeur, dont les détonateurs n'étaient pas fiables. En septembre 1943, la torpille Mark 18 est mise en service et est supposée ne pas avoir de sillage ; mais elle est parfois incontrôlable et susceptible d'attaquer son propre lanceur. Cela n'empêche pas ces derniers de remporter de nombreuses victoires. À la fin de la guerre, les sous-marins américains ont coulé plus de tonnage que toutes les autres forces américaines. Ils ont réussi là où leurs homologues allemands ont échoué, à savoir étrangler l'économie de leur adversaire en coupant les liaisons maritimes entre l'archipel et les territoires conquis.

Côté Atlantique, l'Allemagne, qui construit officiellement son premier sous-marin militaire en 1935, a mis en chantier 1174 unités de différentes classes jusqu'au printemps 1945, totalisant la plus grande flotte sous-marine. En 1939, elle possède déjà 65 unités dont 21 prêtes au combat. La machine à crypter les transmissions, Enigma, a permis des tactiques d'attaques groupées en « meute de loups » assez efficaces mais la bascule se produit à partir de 1942-1943 avec l'invention du radar, du sonar et le décryptage du code Enigma. Les pertes de U-Boote deviennent alors très importantes, malgré des améliorations techniques notables. Ainsi le schnorchel, une invention hollandaise d'avant-guerre, a été greffée sur les sous-marins allemands pour utiliser les moteurs Diesel en plongée afin d'éviter la détection visuelle et radar. Le sous-marin restant très vulnérable vis-à-vis des avions, les allemands ont étudié un système de propulsion anaérobie (turbine Walker) qui, ajoutée à la propulsion Diesel-électrique, permettait au U-Boote type XXI de rester plusieurs jours voire plusieurs semaines en plongée.

La maîtrise allemande des U-Boote est devenue à la fin du conflit le modèle qui inspirera la conception des sous-marins modernes. En plus des innovations dans leur conception, les Allemands élaborèrent une idée révolutionnaire : permettre à un U-Boote de tirer un missile balistique de type V2 depuis l'océan vers le continent afin d'attaquer les Etats-Unis. Ils posèrent ainsi les bases du concept de l'engin de guerre le plus puissant de tous les temps : le sous-marin nucléaire lanceur d'engins (SNLE).
Le sous-marin d'après-guerre possède une large autonomie discrète en plongée, la protection de son détecteur de radar quand il est à l'immersion périscopique et des moyens de transmission satisfaisants mais sa vitesse de déploiement en surface et plus encore en plongée ne lui permettent toujours pas d'opérer au sein d'une force navale. Son emploi opérationnel reste celui d'un combattant solitaire, gardien discret des passages obligés et des mouillages adverses, agent de renseignements photographiques,

acoustiques et électromagnétiques ou vecteur des opérations spéciales sur les côtes hostiles. Incapable de pister une force navale il va agir en barrage, souvent de plusieurs sous-marins dans des zones contigües. Il est entrainé à franchir discrètement le rideau d'escorteurs pour attaquer le bâtiment précieux puis à se faire oublier pour se dérober derrière des leurres. La capacité de mouillage de mines adaptées aux tubes lance-torpilles est généralisée et son exécution en toute discrétion au ras des côtes fait l'objet d'entrainements spécifiques.

Parallèlement les armes évoluent : aux torpilles rectilignes succèdent des torpilles à autodirecteur actif et/ou passif, adaptées selon le modèle à la lutte antisurface ou anti-sous-marine, dont les portées passent de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres. Le canon est définitivement abandonné sur ces bâtiments dont la vocation est de combattre en plongée, mais cette période va voir apparaître les premiers missiles antisurface lancés en plongée. Dès lors le bâtiment anti sous-marin (ASM) ne peut combattre le sous-marin qu'avec ses torpilles à portée limitée se déplaçant à la vitesse d'un navire, quand le sous-marin peut lancer au-delà de l'horizon un missile supersonique. Pour contrer ce déséquilibre, très rapidement les bâtiments ASM deviennent quasiment tous équipés d'un hélicoptère armé d'un sonar trempé et de torpilles qu'il peut lâcher à proximité immédiate du sous-marin. Cependant, grâce à sa discrétion, c'est toujours le sous-marin qui garde l'initiative de l'engagement s'il n'a pas fait l'objet d'une détection, même fugitive, à l'immersion périscopique quand il cherche à identifier le but.

- **L'époque moderne**

À partir des années 1950, l'énergie nucléaire qui offre une autonomie en plongée illimitée commence à remplacer la propulsion Diesel-électrique ; sont aussi développés des équipements pour extraire l'oxygène de l'eau de mer et des centrales à inertie. Ces innovations permettent aux sous-marins de rester immergés pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois et autorisent des navigations jusque-là impossibles, comme l'expédition de l'USS *Nautilus* au pôle Nord, en 1958.

Le changement stratégique majeur est venu du SNLE armé de missiles balistiques intercontinentaux à têtes nucléaires conférant aux Etats qui en possèdent une capacité non seulement de dissuasion mais aussi de frappe stratégique « en second ».

Parallèlement se sont développés les sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) qui, grâce à leur endurance, leur mobilité et leur discrétion sont devenus les plateformes les plus efficaces pour la lutte anti-sous-marine. Ces sous-marins ont permis d'appréhender les capacités de détection sous-marine des très basses fréquences et de l'analyse spectrale

qui constituent une avancée technologique et opérationnelle majeure, permettant de les engager dans des opérations de pistage de longue durée de sous-marins nucléaires. L'amélioration concomitante de leurs moyens de communication et de navigation renforce considérablement les possibilités de coopération avec l'aviation de patrouille maritime et les frégates anti sous-marines.

Ces caractéristiques originales des SNA offrent une nouvelle et très importante capacité : leur intégration dans une force navale. Cette possibilité va être largement employée dans les nombreuses opérations qui sont conduites après la disparition de l'URSS, les SNA opérant soit en protection rapprochée d'une force aéronavale, soit à distance pour collecter des données ou servir de veilleur avancé discret.

Cependant, avec la chute de l'URSS, les nombreux et relativement bruyants sous-marins nucléaires soviétiques disparaissent, la Marine russe ne déployant plus que ses plus récents bâtiments beaucoup plus silencieux. Ceci entraine pour les SNA occidentaux l'impérieuse nécessité d'améliorer significativement leurs capacités de discrétion et de détection.

Ce saut technologique conduit à des sous-marins super silencieux, visant un bruit rayonné plus faible que le bruit de fond de la mer. De plus, l'apparition de missiles de croisière lançables à partir de sous-marins confèrent aux nouveaux SNA le statut de véritable « capital-ship », bras armé redoutablement polyvalent d'une politique de défense, allant de l'intimidation à la rétorsion.

Certaines puissances nucléaires et d'autres pays ont cependant continué à produire des sous-marins conventionnels, très silencieux sauf quand ils utilisent leurs groupes électrogènes pour recharger leurs batteries. Même s'ils sont moins rapides et peuvent emporter moins d'armes, les sous-marins conventionnels sont moins onéreux ; depuis le début du siècle, l'arrivée des antennes de détection très basse fréquence et l'adoption de capacités propulsives anaérobies ont beaucoup augmenté la discrétion et les performances de détection des sous-marins conventionnels et le nombre de ces unités est en constante augmentation.

L'ordre de bataille mondial

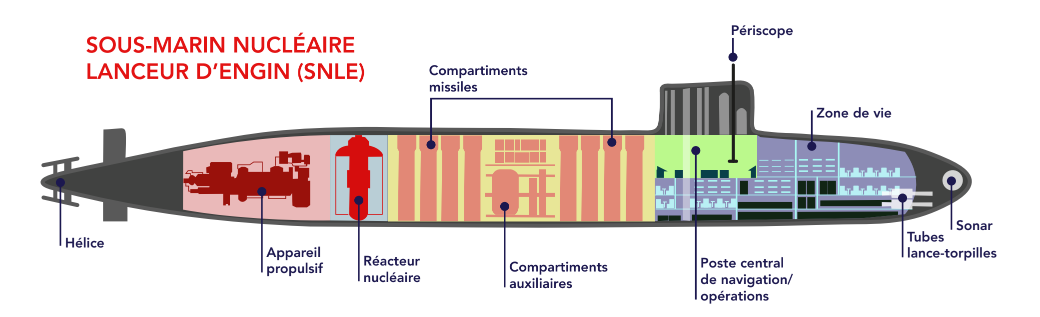
On distingue les SNLE, exclusivement dédiés à la dissuasion nucléaire et les sous-marins d'attaque, armés d'armes tactiques conventionnelles mais aussi potentiellement nucléaires. Les sous-marins d'attaque peuvent être à propulsion nucléaire (SNA) ou conventionnelle (SMD).

Leur répartition dans le monde est la suivante :

- **41 SNLE**

Seules six nations possèdent aujourd'hui des « SNLE » : la France (4), le Royaume-Uni (4), la Chine (5), l'Inde (1) mais surtout la Russie (13) et les États-Unis (14).

Ces sous-marins de très grande taille sont les plus puissants : ce sont les seuls capables d'une frappe nucléaire stratégique à très grande distance. Ils sont surtout prévus pour pouvoir riposter en deuxième frappe après une attaque désarmante, notamment en raison de la quasi-impossibilité de les localiser. Ce sont les sous-marins qui plongent le plus profond (le chiffre est gardé confidentiel) et ils font preuve de la meilleure discrétion au plan acoustique. Ils sont tous à propulsion nucléaire.



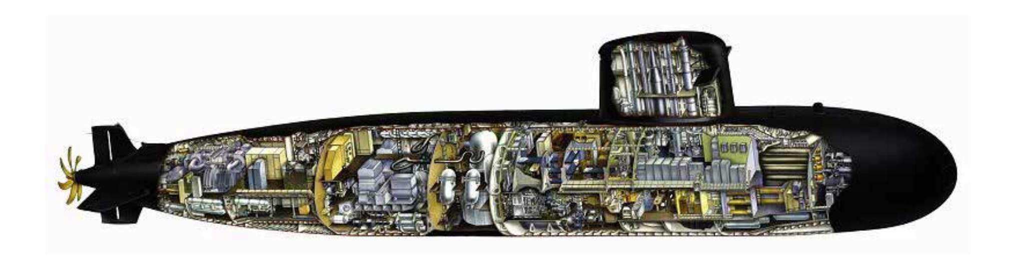
Coupe d'un sous-marin nucléaire d'engins SNLE ©*CESM*

• **472 sous-marins d'attaque**

Il existe des centaines d'autres sous-marins d'attaque à travers le monde. Ceux-là se « contentent » de lancer des torpilles ou des missiles tactiques lorsqu'ils en sont armés. Certains ne sont pas armés et sont dédiés à d'autres missions, le renseignement, par exemple.

On en dénombre aujourd'hui 472 dans 43 pays. 101 sont des SNA (N) et 371 des SMD.

Chine (7N + 67), Russie (28N + 29), USA (54N,) Corée du Nord (35), Corée du Sud (22), Japon (21), Iran (19), Inde (17), Turquie (12), Colombie (11), Grèce (11), France (6N), Royaume Uni (6N), Pakistan (9), Egypte (8), Italie (8), Brésil (7), Algérie (6), Australie (6), Allemagne (6), Norvège (6), Pérou (6), Vietnam (6), Israël (5), Singapour (5), Suède (5), Azerbaïdjan (4), Canada (4), Chili (4), Indonésie (4), Pays Bas (4), Taïwan (4), Afrique du Sud (3), Argentine (2), Bengladesh (2), Equateur (2), Malaisie (2), Portugal (2), Espagne (2), Venezuela (2), Cuba (1), Myanmar (1), Pologne (1).



Coupe d'un sous-marin nucléaire d'attaque ©*Marine Nationale*

• **Perspectives**

L'avenir des sous-marins passe par une architecture très modulaire, un armement surpuissant, une forte capacité à être modifié, entre 2 missions ou à l'occasion des arrêts techniques, et une grande facilité à intégrer des nouvelles technologies comme les drones multi-milieux.

Un sous-marin moderne doit être furtif et doté d'une capacité de détection et de destruction importante vis-à-vis de menaces de surface ou sous-marines. Il doit pouvoir accomplir également des missions d'opérations spéciales et de renseignement.
Ses missions doivent être conçues dans une logique de systèmes distribués (sous-marins, drones, stations immergées, …) qui se complètent pour optimiser la réalisation des missions.
Enfin, une excellente capacité de manœuvrer dans les trois dimensions à très faible vitesse et tout près du fond voire d'opérer en étant posé sur le fond doit être recherchée
En matière d'énergie-propulsion doivent être développées des technologies innovantes comme des moteurs électriques intégrés, des moteurs à supraconductivité, des batteries Li-Ion ou des systèmes anaérobies à base de piles à combustible.

L'avenir est aussi à l'éco-conception par systématisation des analyses d'impact environnemental sur le cycle de vie, à la sélection des meilleurs matériaux et technologies pour optimiser à la fois les performances opérationnelles et le respect de l'environnement.

L'architecture générale des sous-marins doit aussi être étudiée de façon novatrice pour permettre l'intégration de charges utiles diversifiées (en particulier les véhicules sous-marins autonomes) et des signatures adaptées à l'environnement littoral ou océanique (optimisation des signatures visuelle et magnétique). L'infrastructure numérique et les systèmes de traitement de l'information embarqués doivent être interconnectés, performants, robustes, cyber sécurisés et évolutifs pour que les senseurs et effecteurs puissent donner leur plein potentiel et suivre l'évolution des menaces et des technologies.

L'objectif est ainsi de repousser les limites techniques et d'atteindre des performances inégalées dans un futur où les menaces imposent des réponses opérationnelles sans commune mesure avec l'existant dans les domaines de la furtivité, des performances énergétiques, de l'invulnérabilité, de la connectivité, des senseurs et des armes.

La maîtrise des nouvelles technologies, qu'elles soient digitales (intelligence artificielle, autonomie décisionnelle des drones, bulle immersive en réalité virtuelle), énergétiques (batteries haute énergie, piles à combustible), liées à l'intégration fonctionnelle et

physique des armes, senseurs et réseaux maillés de communication (drones, bouées, antennes conformes) ou encore aux matériaux de furtivité actifs sur la coque ou sur ses appendices constitue le défi majeur des années à venir pour l'ensemble des concepteurs de sous-marins.



SNA de classe Barracuda Suffren en essais à la mer dans le zonx toulonnais. ©*Marine Nationale*

L'atout des drones, entretien avec François-Xavier de COINTET

Propos recueillis par l'aspirant Élise FAILLIÈRES
et Nicolas MAZZUCHI

François-Xavier de COINTET
CEO groupe SeaVorian - RTsys & Neotek

▸ Le MINARM a rendu publique sa stratégie pour de maîtrise des fonds marins le 14 février 2022, était-ce important de formaliser une telle vision dans un contexte de dronisation des fonds marins et d'émergence de nouveaux acteurs en ce domaine ?

François-Xavier de Cointet : Oui et j'ajouterais qu'il était temps car notre pays commençait à accuser un certain retard technique, et donc capacitaire, par rapport à quelques Nations d'Europe du Nord, aux Etats-Unis, à la Chine ou à la Russie. L'image que je pourrais donner est que nous sommes restés dans la cour des grands quand il s'agit d'aller dans l'espace mais que dans le domaine sous-marin – mis à part les sous-marins et la partie militaire pure et dure –, nous sommes aujourd'hui en retard, singulièrement sur les menaces que représentent les drones sous-marins. Pour bien comprendre les ruptures que ce type d'engins induit, il faut, je crois, se replacer dans le cadre de la Lutte Sous la Mer (LSM). Quand je chassais le sous-marin – il y a une vingtaine d'années –, nous faisions face à un ou deux sous-marins sur des grandes zones, qui nécessitaient de gros moyens pendant un temps relativement long. Aujourd'hui la menace est radicalement différente, c'est ce que j'appelle du multi-drones : vous n'aurez pas affaire uniquement à celle de sous-marins mais à une flotte de drones qui arriveront de je ne sais où, qui seront largués par un sous-marin, par un navire, par avion, par un drone même et qui, pendant 24-48h voire plusieurs jours, rendrons une zone maritime particulièrement complexe à appréhender. Cette rupture n'est pas de la science-fiction car il va se passer sous la mer ce qui s'est passé dans les airs : une démocratisation, une banalisation de cette technologie donc une prolifération du drones. Tous les petits drones non armés que l'on fabrique aujourd'hui chez RTsys, seront demain fabriqués ou achetés par des pays qui pourront les armer. Enfin, et même si la récente stratégie française des grands fonds marins encouragent les industriels à descendre vers 6 000 mètres, j'estime qu'il y a aussi beaucoup à faire avec des drones sous-marins plus légers entre 0 et 3000 mètres, que ce soit en Méditerranée, en mer Noire, ou ailleurs… A terme, les navires seront accompagnés d'une meute de drones qui lui permettront d'étendre leurs capacités d'action, leur zone d'opérations, en surface comme sous la mer. Grâce à la robotique et aux capteurs embarqués, chaque Marine étendra sa zone d'action, durera plus longtemps à la mer, et opérera aussi à des immersions croissantes.

▸ J'imagine cependant qu'il y a des différences importantes entre les différents drones, en terme d'autonomie, de capacité, d'intelligence même ?

FXdC : Tout à fait et en premier lieu le plus basique : l'autonomie. C'est un sujet, une préoccupation quotidienne, autant pour des applications civiles que militaires, les deux secteurs recherchant des drones capables d'opérer le plus longtemps possible

en mer. Sur ce sujet, il faut appréhender deux questions : la première est d'augmenter l'endurance tout en restant, pour RTsys, dans notre gamme de drones légers. La seconde concerne la sécurité des batteries ; sujet sensible tant pour le transport aérien des drones que leur embarquement à bord de navires ou de sous-marins. Comme les fabricants de voitures, nous avons aussi un enjeu de *sourcing*, qui explique que nous suivions nos fournisseurs de près, travaillant avec eux sur l'électronique de commande et de contrôle de la batterie de manière à ce que notre architecture système soit au niveau le plus bas de consommation et le plus haut de sécurité. Un autre sujet connexe est bien évidemment le *docking* et toute la gamme de la recharge de la batterie, soit via le bateau porteur – recharge rapide –, le bateau porteur pouvant être un vrai bateau ou un drone de surface, soit par l'intermédiaire d'une recharge sous-marine et ceci sans compter la possibilité de changer la batterie rapidement, en opération.

▸ Un autre élément différenciant est l'intelligence du système…

FXdC : C'est même le cœur du sujet. Aujourd'hui nos drones ont une intelligence embarquée pour opérer en toute autonomie sous l'eau, seul ou en meute. Ils sont ainsi en capacité de décider de plonger, de se stabiliser par rapport au fond, de virer pour rejoindre une route ou un point de navigation ou de remonter à une immersion de consigne ou à la surface selon des cas préétablis. Nous travaillons à améliorer cette intelligence embarquée avec, par exemple, des logiciels d'évitement d'obstacles et de l'IA sur des données acoustiques, sonar ou de vidéo qui permettront au drone de prendre une décision seul selon ce qu'il écoutera, détectera ou verra sous l'eau.

▸ La partie « intelligente » serait donc liée aux capteurs, au traitement des données qui en sont issues et non au porteur en tant que tel ?

FXdC : Ma conviction est que les améliorations viendront du travail en meute des drones, de leur capacité à communiquer entre eux mais aussi avec la multitude de capteurs fixes et mobiles disséminés ici et là. Dans le domaine de la collecte de données ou de l'inspection sous-marine par exemple, on peut imaginer à très court terme des solutions de drones qui, détectant quelque chose, de façon autonome, puissent refaire une passe pour confirmer le contact et/ ou envoyer un autre drone pour prendre une image plus précise. L'acoustique nous offre aujourd'hui un avantage important puisqu'elle permet à la fois de détecter, de se positionner avec précision, et de communiquer en réseau. A nous d'y ajouter des capteurs vidéo sous-marins très haute performance, des sonars latéraux performants et des logiciels d'intelligence artificielle embarqués pour améliorer l'intelligence des drones.

▸ Vous ne voulez pas vous limiter à remonter de la donnée brute ou déjà semi raffinée, mais aussi faire du traitement à bord ?

FXdC : Sur la data, nous sommes à la fois très humble et très ambitieux. Nous exploitons aujourd'hui des données acoustiques, de turbidité, de célérimètre, de température, de pH, etc. collectées par nos bouées instrumentées et par nos drones. Les analyses des data sont réalisées en deux étapes : un prétraitement simple pour « nettoyer » les données et un second traitement plus approfondi via des modèles et des logiciels. Ce travail est réalisé avec des partenaires. Les données issues des bouées instrumentées peuvent être présentées en temps réel ou semi réel aux opérationnels sous forme d'interfaces web via des cloud. Les données des drones sont en partie transmises en semi temps réel (quand le drone sort de l'eau), et en partie en post traitement après la mission. C'est dans cette perspective là que l'intelligence du drone est importante : il faut qu'il soit en capacité d'aller chercher la bonne donnée et, si nécessaire, de reconfigurer sa mission, moyen de gagner du temps. Reste qu'il faut bien avoir en tête que pour être en capacité de trouver la bonne donnée, il vous faut le bon capteur.

▸ Il y a une grande variété de capteurs ?

FXdC : Il y a surtout une grande variété de besoins. Le besoin du scientifique nécessite un capteur de très haute précision car il est dans la recherche de l'infiniment précis ou parfois de l'infiniment petit. L'industriel civil et l'opérationnel militaire recherchent aussi un haut niveau de précision et de performance mais également l'endurance et la robustesse dans des environnements sévères. Il faut que le porteur et ses capteurs fonctionnent dans des conditions météo rudes et sur des durées longues. Nous concevons par exemple des bouées qui opèrent un an en mer ou des systèmes sous-marins acoustiques qui demeurent six mois sous l'eau à 6000 mètres de profondeur. Cette grande variété de besoins explique aussi pourquoi nous ne proposons pas uniquement des drones mobiles mais aussi des systèmes fixes : le système SOSUS (SOund SUrveillance System), un réseau américain d'hydrophones fixes, a fait ses preuves et ne doit pas être négligé de nos jours. L'avantage de ce type de système est la fiabilité – le fait qu'ils existent depuis longtemps a permis de les roder –, la capacité de descendre à de très grandes profondeurs – 6 000 mètres – et de l'enregistrement multi-paramètres pendant des semaines voire des mois.

▸Cela offre donc une grande variété de clients ?

FXdC : En effet, nous allons pouvoir proposer une large gamme d'enregistreurs acoustiques pour des applications civiles comme industrielles. Un des derniers gros contrat que nous avons signé porte par exemple sur l'installation de 75 enregistreurs sous-marins le long du littoral d'un Etat, entre 200 et 2000 mètres, au service d'une politique de surveillance du bruit ambiant pour protéger les baleines. Dans le même ordre d'idées, nous ciblons aussi le secteur des énergies marines renouvelables car les industriels doivent respecter des règlementations afin de limiter le bruit de leur travaux pour ne pas trop perturber les écosystèmes. Ils peuvent déployer nos bouées qui retransmettent en temps réel le bruit émi sous l'eau, moyen de savoir s'ils sont sous ou au-dessus des seuils et d'arbitrer sur la suite de leurs travaux. Nous avons naturellement des clients dans le domaine de la Défense, sur la connaissance de l'environnement, la détection et la compréhension de ce qui se passe sous l'eau, en lutte sous la mer, en seabed warfare et en guerre des mines. Nous proposons par exemple des sonars pour plongeurs qui leur permettent de se positionner sous l'eau, de parler entre eux, de trouver des engins explosifs. Sur le marché « lutte sous la mer », nous avons développé un drone spécifique qui est une cible sous-marine, plus rapide qu'un drone classique, doté de capacités acoustiques passives et actives très performantes, qui permet par exemple à un équipage de frégate, d'hélicoptère ou d'avion de patrouille maritime de s'entraîner à chasser un sous-marin, bref les perspectives sont larges.

RTsys en chiffres

RTsys est une PME de hautes technologies sous-marines du groupe SEA VORIAN, alliant la robotique et l'acoustique pour proposer des solutions en réseau.

RTsys est organisée en 4 lignes de produits :

- 2 lignes de produits dédiés pour des applications militaires : des Autonomous Underwater Vehicle (AUV) COMET-MCM et MicroAUV NEMOSENS, et des sonars pour plongeurs SONADIVE, utilisés pour la guerre des mines et l'océanographie ; des cibles SEMA pour entrainer les équipages de navires, sous-marins, hélicoptères et avions à la lutte sous la mer ;

- 2 lignes de produits pour des applications civiles : des bouées instrumentées RUBHY et REMHY et des enregistreurs acoustiques RESEA et SYLENCE pour lutter contre la pollution sonore sous-marine ; des drones sous-marins COMET et MicroAUV NEMOSENS utilisés pour des études scientifiques, la protection de l'environnement et le recherche d'objets abandonnés sur les fonds marins.


RTsys


RTsys



Les abysses : la nouvelle frontière de l'archéologie aux pieds palmés

Michel L'HOUR
Conservateur général du patrimoine honoraire
Archéologue sous-marin. Directeur du DRASSM 2006 - 2021
Membre de l'Académie de marine

L’archéologie sous-marine : une improvisation française, un terrain de jeu planétaire

Inspirée par l’opiniâtreté visionnaire de l’archéologue français Alfred Merlin qui, le premier, dirigea de 1907 à 1913 une fouille sous-marine, sur l’épave de Mahdia, en Tunisie (Figure 1 et 1bis), prodigieusement facilitée par la passion inventive de Jacques-Yves Cousteau et Emile Gagnan, ingénieux concepteurs en 1943 du scaphandre autonome, l’archéologie des mondes immergés doit sa naissance à une intuition fulgurante du ministre français de la Culture André Malraux. En créant en septembre 1966 le premier service officiel de recherche en matière de patrimoine culturel subaquatique, le DRASSM[1], et en lançant l’année suivante le premier navire de recherche archéologique, *L’Archéonaute*[2], ce dernier a de fait véritablement fondé cette discipline où la France aujourd’hui encore excelle et où elle exerce depuis plus d’un demi-siècle un véritable leadership planétaire.





En 1909, à Mahdia, les scaphandriers pieds-lourds d’Alfred Merlin jettent les bases de l’archéologie sous-marine. Fouille Alfred Merlin 1907-1913.
©Musée du Bardo (Tunis).

1. Établi durant plusieurs décennies au cœur de Marseille, le département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines est aujourd’hui basé sur le port marseillais de l’Estaque. Il est depuis 1966 chargé de gérer administrativement et scientifiquement l’ensemble du patrimoine immergé de l’intégralité des eaux sous juridiction française, à l’exception de certains territoires ultramarins bénéficiant de statuts spécifiques (Polynésie, Nouvelle-Calédonie).
2. Lancé en 1967 au chantier Auroux d’Arcachon, *L’Archéonaute* fut longtemps le seul bâtiment de recherche archéologique sous-marine au monde. Cédé aux Domaines en 2006, il a été avantageusement remplacé en 2012 par l’*André Malraux*, Cf. L’HOUR Michel, *De* L’Archéonaute *à l’*André Malraux. *Portraits intimes et histoires secrètes de l'archéologie des mondes engloutis,* Actes Sud, 2012, 288 p.

Il est vrai que notre pays, berceau de la plongée autonome mais également de l'immersion industrialisée, notamment incarnée par la Comex, pourrait légitimement être considéré comme une sorte de fille ainée de l'histoire plurimillénaire des mondes maritimes.

Sorte d'isthme inscrit au cœur de l'Europe, la France métropolitaine, par ailleurs aujourd'hui dotée grâce à ses territoires ultramarins de la deuxième ZEE la plus importante au monde, s'est tout naturellement trouvée, par sa géographie, dès sa construction nationale, à l'interface de deux des principaux foyers de la culture maritime mondiale, le bassin méditerranéen et la sphère atlantique. Par suite de cette double ascendance, jalonnée de grottes paléolithiques ornées et ennoyées, de milliers de naufrages, d'antiques pêcheries littorales dorénavant grignotées par l'infernale pression des aléas climatiques et, plus récemment, d'aéronefs tombés à la mer ou d'orgueilleux blockhaus édifiés « pour mille ans » mais déjà envahis par la houle, notre pays est très probablement aussi l'héritier du plus vaste patrimoine culturel immergé de notre planète. Il est patent en effet que l'histoire maritime des espaces américains et australiens, voire même des puissances asiatiques, ne puisse pas, au moins jusqu'au XIXe siècle, rivaliser sur ce point avec celle de l'Europe continentale dont la France est au cœur.

Surgis les premiers sur l'horizon des mondes culturels subaquatiques, légataires des progrès mais aussi des erreurs commises sur le site marseillais du Grand Congloué, où « l'équipe Cousteau » travailla de 1952 à 1957 sans jamais prendre conscience qu'elle analysait simultanément deux épaves parfaitement superposées mais perdues à un siècle d'intervalle[3], les archéologues français ont d'emblée été contraints d'inventer eux-mêmes leur « métier ». Il a fallu pour ce faire localiser et analyser la « ressource », concevoir et préciser les problématiques de recherches, improviser et développer des méthodes de fouille, maîtriser les pillages, imposer une déontologie et *in fine* professionnaliser la discipline. Si les archéologues aux pieds palmés de notre pays furent les pionniers obligés de cette évolution, ils en furent aussi les enfants gâtés puisqu'ils ont sans doute, au cours des premières décennies de leur histoire, expertisé, analysé, sondé ou fouillé de manière exhaustive plus de sites immergés à eux-seuls que la communauté archéologique mondiale ne le faisait dans le même temps dans son ensemble.

3. Si le journal de fouille de l'universitaire Fernand Benoit, qui, sans plonger lui-même, dirigeait la fouille, prouve que ce dernier eut parfois quelque doute sur l'unicité du gisement, il n'en fit jamais officiellement état et sa publication du site en 1961 ne dit rien de ses incertitudes. Cf. BENOIT Fernand, *L'épave du Grand Congloué à Marseille : Fouilles sous-marines*, Paris, Gallia, supplément XIV, éditions du CNRS, 1961. 210 p. Le caractère éminemment contestable et au demeurant très contesté de cette publication a sans doute joué un rôle dans la décision d'André Malraux de créer le DRASSM en 1966. Il a fallu nonobstant patienter près de trente ans avant que la dualité du site ne soit définitivement confirmée, cf. LONG Luc, Les épaves du Grand Congloué. Etude du journal de fouille de Fernand Benoit, *Archaeonautica*, 7, 1987, p. 9-36.

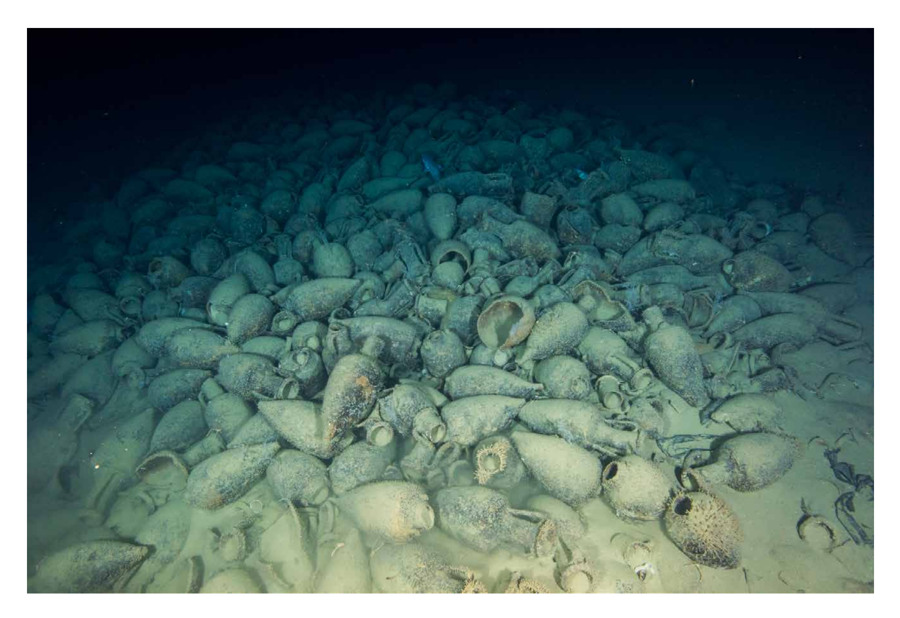


Marseille. L'équipe du commandant Cousteau sur le site du
Grand Congloué. Fouille F. Benoit 1952-1957.
©DR, archives DRASSM.

Foisonnantes de découvertes de biens culturels ennoyés aussi nombreux et diversifiés que spectaculaires, les années 1950 à 1980 furent ainsi, à coup sûr, celles des innovations et de l'enthousiasme. Elles furent aussi celles des confirmations et des révélations ; confirmation en premier lieu que la mer était bien le plus grand musée du monde, comme l'archéologue français Salomon Reinach en avait eu dès 1928 l'intuition[4]; révélation ensuite de l'extraordinaire état de conservation des épaves noyées dans les abysses et de la source phénoménale d'informations que celles-ci pouvaient receler. Envisagée dès l'aube des années 1980, l'archéologie des abysses allait toutefois relever d'une démarche progressive et complexe qui ne s'est en rien apparentée à un long fleuve tranquille.

---

4. On doit à la vérité d'admettre que cet éminent archéologue, spécialiste de l'antiquité méditerranéenne, avait plus précisément écrit que *« Le musée d'antiques le plus riche du monde est encore inaccessible : c'est le fond de la Méditerranée orientale… »*. Cf. REINACH Salomon, *Gazette des Beaux-Arts* 1928, II, p. 215. A cette limite géographique près, le diagnostic était fondé. Le demi-siècle écoulé a de fait largement démontré que la mer était bien le plus grand musée du monde et l'on peut gager que les plus grandes découvertes de l'archéologie se feront à l'avenir, pour partie, sur le fond des océans.



Epave Capo Sagro 3. Epave du IIe s. av. J.-C.. Chargement d'amphores parfaitement conservé par 500 m de fond. Expertise F. Cibecchini – M. L'Hour 2015. *©Frédéric Osada/DRASSM.*

Les premiers pas : l'enthousiasme des novices, l'ère aussi des couleuvres avalées

Ce sont les industriels de l'offshore, les spécialistes de la recherche océanique et les militaires qui furent les premiers à signaler au monde de l'archéologie des découvertes d'épaves à grande profondeur. Les premiers aussi à lui offrir la possibilité de s'immerger dans leurs drôles de machines pour aller examiner de plus près ces sites extraordinaires surgis du passé autant que du néant dans un état de conservation souvent magique. Et pour cause ! Coulées par suite d'une tempête, d'un fait de guerre ou d'une cargaison excessive, les épaves perdues par grand fond, et donc en haute mer, sont, de loin, les mieux conservées. Au-delà de la violence initiale du naufrage qui leur a opportunément épargné de se fracasser dans les récifs, elles sont demeurées longtemps, par leur bathymétrie, à l'abri de toute intervention d'origine anthropique, notamment des récupérations traditionnellement opérées par les populations locales au lendemain d'un naufrage puis celles, illégales, conduites par les plongeurs autonomes au cours des trois quarts de siècle écoulés. Tenues par ailleurs hors d'atteinte de la houle, dont on connait les effets sur les sites de faible fond, ces épaves ont échappé à l'oxydation générée par le ressac et à l'appétit vorace des mollusques marins xylophages, notamment le *teredo navalis*, absents au-delà de 150 m de profondeur. On conçoit en conséquence que les

archéologues subaquatiques aient tôt manifesté de l'intérêt pour ces gisements des abysses et immédiatement saisi l'opportunité qu'on leur offrait parfois d'en approcher les mystères. C'est ainsi que les spécialistes du DRASSM ont pu, à la fin des années 1970 et jusqu'au mitan des années 1990, expertiser très ponctuellement plusieurs épaves localisées au-delà des limites de la plongée humaine.

Découverte fin 1976 par le sous-marin *Griffon* de la Marine nationale[5], l'épave dite Bénat 4, perdue par 328 m de fond à la fin du IIe siècle avant notre ère, inaugura cette *longue marche* à la profondeur (Figure 4). Le site fit en effet l'objet dès l'année suivante d'une première expertise du DRASSM conduite avec le *Griffon* depuis le navire *Triton*, puis d'une seconde, le 8 octobre 1981, depuis la soucoupe plongeante *Cyana* de l'ex-CNEXO[6] opérée depuis le navire *Suroît*. A cette double occasion, qui, bout-à-bout, n'a guère offert aux archéologues que quelques heures de présence sur le site, un faible lot d'amphores et trois petites urnes-gobelets furent ramenés au jour, non sans quelque casse, par les bras articulés des deux sous-marins[7].



Au large du cap Bénat. Gisement d'amphores romaines de l'épave Bénat 4 coulée par 328 m de profondeur. Fin du IIe s. av.J.-C. Expertise P. Grandjean – L. Long 1979-1981. ©*IFREMER-DRASSM.*

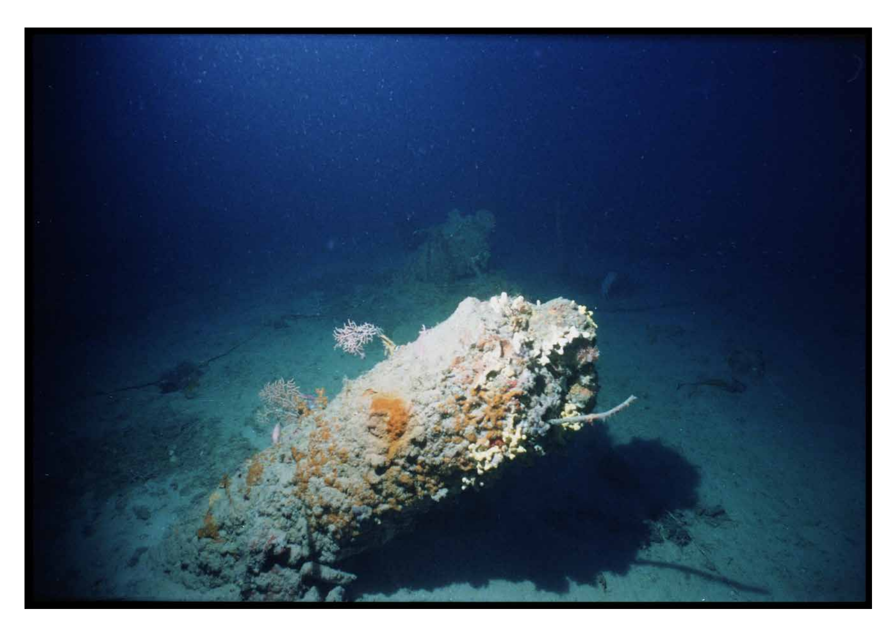
5. Embarqué depuis 1972 sur le Bâtiment d'Intervention et d'Expérimentation Sous la Mer A646 *Triton*, ce sous-marin était mis en œuvre par le Groupe d'Intervention Sous la MER (Gismer) de la Marine nationale, successeur en 1973 du GRS créé en 1945 puis du Gers créé en 1950. De manière presque incompréhensible, il fut mis fin en 1993 aux activités du Gismer, au moment du désarmement du *Triton*, sans que rien n'ait vraiment été prévu pour pallier sa dissolution. De sorte qu'il fut nécessaire, du 31 janvier au 3 février 1994, de solliciter l'aide de la Marine italienne et de son navire *Anteo* pour relever l'épave du Fouga Zéphir de l'aéronautique navale tombé en mer avec ses deux membres d'équipage au mois d'octobre 1993… Cette imprévoyance de l'Etat fit débat au Sénat entre avril et août 1994 et c'est en partie pour y répondre que fut créée le 1er juin 2000 la CEllule Plongée Humaine et Intervention Sous la MER (CEPHISMER) aujourd'hui intégrée à l'état-major de la force d'action navale. Les moyens logistiques de la Cephismer ne sont toutefois en rien comparables à ceux dont disposaient ses prédécesseurs.
6. Fondé le 3 janvier 1967 (loi 67-7) sous la Présidence du Général de Gaulle, le Centre National pour l'EXploitation des Océans (CNEXO) a finalement été fusionné par un décret du 5 juin 1984 avec l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (ISTPM) pour donner naissance à l'actuel Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER).
7. LONG Luc, L'épave antique Bénat 4. Expertise archéologique d'un talus d'amphores à grande profondeur, *Cahiers d'Archéologie subaquatique*, VI, 1987, *p*. 99-108.

Après que ces quelques moments volés aux plannings d'organismes partenaires ont amplement confirmé l'importance archéologique des sites profonds, le DRASSM s'est efforcé de multiplier ses expériences au gré des découvertes opérées à l'époque par le *Griffon*, la *Cyana* ou le sous-marin sur ombilical *Nérée*… En ces quelques occasions, les archéologues n'ont cependant jamais eu la maîtrise réelle des moyens qu'on mettait à leur disposition. Généralement prévenus au dernier moment de la disponibilité pour quelques heures d'un sous-marin ou d'un ROV, il leur était impossible de planifier la moindre stratégie de fouille, de même qu'ils n'ont guère eu de prise sur le déroulement des opérations au cours desquelles, le plus souvent, on les cantonnait dans le rôle de simples témoins. Par suite de cette position relativement passive, il ne leur a jamais été possible non plus d'enregistrer le moindre plan des gisements visités, ni de géolocaliser avec rigueur les rares artefacts prélevés. À l'exception notable de très belles photographies, ces incursions dans les abysses n'ont du même coup habituellement livré que des informations très parcellaires, parfois payées d'ailleurs au prix de quelques objets brisés par des mains hydrauliques inexpérimentées. Le constat ne laissait guère de doute ! Il allait falloir aux archéologues développer des méthodologies de fouille spécifiquement adaptées à l'étude des épaves situées à grande profondeur et il conviendrait qu'ils puissent eux-mêmes les mettre en œuvre ! C'est cette ambition que l'on s'est efforcé dans les années 1990 de satisfaire.

Le temps des apprentissages : une application renouvelée du discours de la méthode

À l'instar de Descartes, dont le *Discours de la méthode* publié en 1637 se voulait un plaidoyer en faveur du progrès des techniques mais revendiquait que les sciences soient désormais fondées sur des bases plus solides, les archéologues se sont dorénavant imposés de ne plus céder aux sirènes de la technologie quand celles-ci imposaient de transiger avec la rigueur méthodologique. Le chantier ouvert par l'auteur dans les années 1990, avec l'aide de la Comex et du sous-marin *Remora* 1, sur l'épave de la *Sainte Dorothea*[8], navire marchand danois perdu en 1693 par 72 m de fond sur le flanc occidental de la rade de Villefranche-sur-Mer, fut le premier à se conformer à cette exigence. En dépit de la bienveillance de l'industriel Henri-Germain Delauze qui se proposait de poursuivre les travaux, le chantier fut en effet arrêté dès qu'il apparut aux archéologues que l'on ne contrôlait pas totalement les protocoles opératoires pratiqués pour prolonger sans risque l'analyse de l'épave.

8. L'HOUR Michel, La *Sainte-Dorothea* (1693), un vaisseau marchand danois en rade de Villefranche : réflexions sur une fouille sous-marine de site profond, *Cahiers d'Archéologie subaquatique,* XI, 1993, p. 5-36.



Epave de la *Dorothea*. Mise à l'eau du sous-marin *Remora* 1 Expertise M. L'Hour 1990. © *Frédéric Osada/DRASSM.*



Epave de la *Dorothea*. Sur le site, les canons sont encore en place au niveau des sabords qu'ils occupaient. Expertise M. L'Hour 1990. © *Frédéric Osada/DRASSM.*

Nonobstant, les recherches pour les maîtriser ne se sont quant à elles, bien sûr, pas interrompues, bien au contraire[9]! De sorte que cette première tentative s'est prolongée dans les années 1990 en alternant sur des épaves à très grande profondeur ou par des bathymétries moindres des expertises durant lesquelles les archéologues n'ont cessé de développer et de peaufiner des techniques de travail tout en consolidant leur compréhension de la ressource robotique. C'est ainsi par exemple que le DRASSM est intervenu en 1993 et 1995 avec l'aide du sous-marin *Nautile* d'IFREMER sur deux épaves, dites Plage d'Arles 4 et 5, respectivement situées à 660 et 450 m de profondeur en Méditerranée[10]. Fait marquant, les progrès accomplis à l'époque par le DRASSM et ses partenaires dans le domaine de la prise de vue sous-marine et de la restitution photogrammétrique ont constitué en ces deux occasions un avantage incontestable pour mieux assurer le récolement des données et analyser les gisements expertisés. Au DRASSM, les recherches dans ce domaine de l'image n'ont en conséquence plus cessé depuis[11].

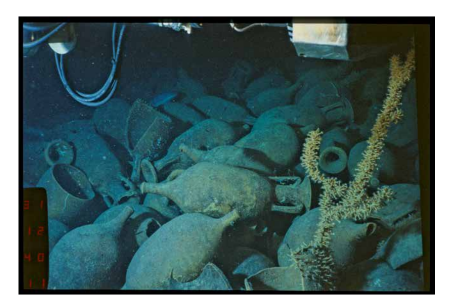


Epave Plage d'Arles 4. Cargaison d'amphores romaines de Bétique, par 660 m de fond. Deuxième quart du Ier s. de notre ère. Mise à l'eau du *Nautile* depuis le navire *Nadir*. Le robot *Robin* fut également associé à cette opération. Expertise L. Long 1993. ©*IFREMER/DRASSM.*

9. On trouvera, pour la période, un excellent résumé de ces multiples opérations dans : LONG Luc, L'archéologie sous-marine à grande profondeur : fiction ou réalité, dans Volpe G. (dir.), *Archeologia subacquea come opera l'archeologo storie dalle acque*. VIII ciclo di lezioni sulla Ricerca Applicata in archeologia, Sienne, 9-15 dicembre 1996. Firenze, Ed. All'Insegna del Giglio, p. 341-379.

10. LONG Luc, Les archéologues au bras de fer : nouvelle approche de l'archéologie en eau profonde, *Protection du Patrimoine archéologique sous-marin en Méditerranée. 100 ans d'intérêt commun méditerranéen,* Documents techniques V, Marseille, 1995, p. 14-46.

11. DRAP Pierre, et *alii*, Le projet ROV 3D : relevé sous-marin en grande profondeur par photogrammétrie. Applications à l'archéologie sous-marine. Revue XYZ, n° 142, 1er trimestre 2015, p. 28-40.



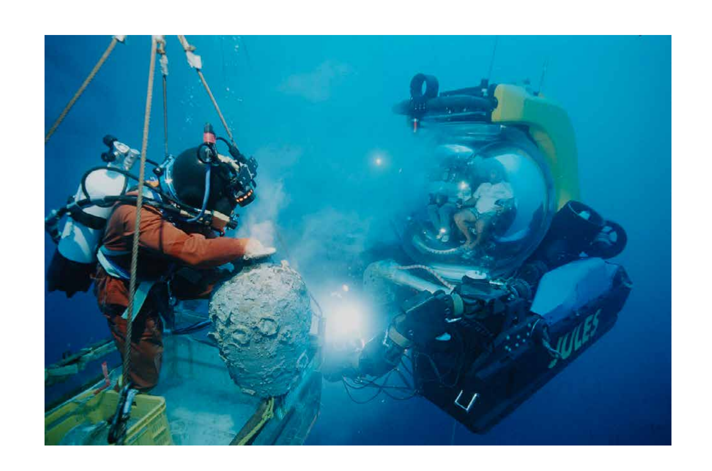
Epave Plage d'Arles 4. Cargaison d'amphores romaines de Bétique, par 660 m de fond. Deuxième quart du Ier s. de notre ère. Expertise L. Long 1993. © *IFREMER/DRASSM.*

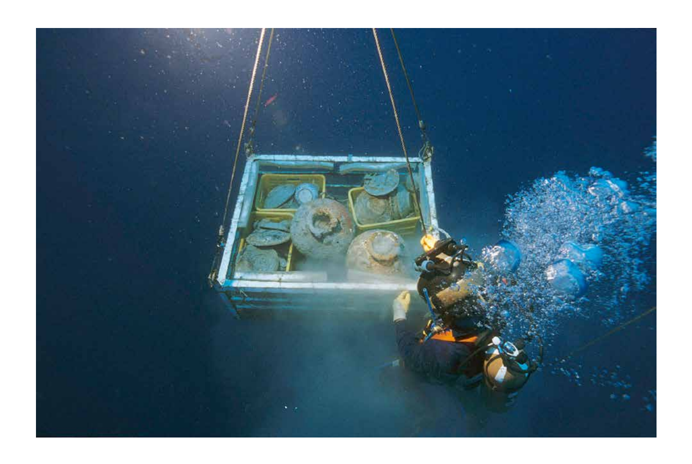
Si les résultats engrangés au cours d'une décennie d'expérimentations réitérées étaient loin d'être négligeables, l'évolution réclamait toutefois, à l'amorce des années 2000, qu'on puisse enfin mener une opération globale par fond important en mobilisant sur une longue période toutes les ressources précédemment testées. C'est la fouille, en 1997 et 1998, sous la direction de l'auteur, d'une épave du XVe siècle située sur les côtes du sultanat de Brunei, à l'est de l'île de Bornéo, qui en a finalement fourni l'opportunité. Localisée à plus de 60 mètres de profondeur, dans une eau si boueuse que les plongeurs, qui travaillaient à l'héliox, n'intervenaient qu'à tâtons et « en aveugle » sur le site, la fouille de cette épave, qui a mobilisé un ROV, les sous-marins *Jules* et *Jim* de la société Aqua+[12], et près de 170 spécialistes, archéologues[13], restaurateurs, techniciens hyperbares, plongeurs professionnels, pilotes de ROV et de sous-marins, a permis d'inventer, de tester et de mettre au point nombre de méthodes et de procédures qui allaient par la suite largement concourir à établir des standards indiscutables pour l'archéologie profonde. En dépit en effet de conditions de travail extraordinairement éprouvantes, les résultats scientifiques de l'opération de Brunei, publiés dès le mois de septembre 2001[14], furent à la hauteur des espérances qu'on avait mises dans l'opération et des engagements financiers qu'on lui avait consacrés. Le plein succès de ce chantier, où les archéologues avaient tout du long conservé le contrôle total et exclusif de tous les moyens scientifiques et logistiques mis à leur disposition, a du même coup définitivement prouvé que la route des épaves profondes était maintenant bien tracée. Dorénavant dotés d'une riche expérience, parvenus à établir et à prouver la validité d'exigences méthodologiques jusqu'alors régulièrement

12. Construits par la compagnie californienne Deep Ocean Engineering, les sous-marins de type Deep Rover DR 1002 *Jules* et *Jim* avaient été conçus pour travailler jusqu'à 1000 m de fond. Acquis en même temps que le navire *Ocean Voyager* par la société Aqua+, filiale de Canal+, ils devaient contribuer à tourner pour le compte de la société Ellipse Marine de grandes productions audiovisuelles dans la veine de l'Odyssée Cousteau. L'entreprise ne fut pas couronnée de succès et *Jules* et *Jim* ont finalement été revendus en 2002 à la société Deep Ocean Expeditions. On les voit notamment dans le film de James Cameron *Aliens of the Deep*. Ils ont été désarmés après 2005.

13. Un record ! La fouille de l'épave de Brunei demeure à ce jour encore le chantier archéologique le plus important au monde pour les épaves situées au-delà de la zone des 60 mètres.

14. L'HOUR Michel, *La mémoire engloutie de Brunei, une aventure archéologique sous-marine*, Paris, Editions Textuel, 2001. 364 p.





Epave de Brunei. (Bornéo). La fouille, en 1997 et 1998, de ce navire asiatique perdu au XVe s. par 63 m de fond a largement contribué à asseoir la réputation des archéologues sous-marins français en Asie. Fouille M. L'Hour 1997-98. *©Frédéric Osada/Images Explorations.*

négligées, sinon brocardées, les archéologues aux pieds palmés disposaient désormais de la maturité et de l'autonomie psychologique nécessaires pour prendre seuls leur destin en main et assumer sans crainte le développement de leurs investigations abyssales. Et, de fait, ouvert à la même époque, dans le souci de perfectionner toujours plus les méthodes de fouille appliquées aux épaves profondes, le chantier conduit par Luc Long (DRASSM), avec la Comex, sur l'épave Grand Ribaud F en Méditerranée, par 60 m de fond, fut la dernière fouille sous-marine en France où les archéologues n'assurèrent pas eux-mêmes le contrôle des robots utilisés au cours de l'opération[15].

Fort des succès accumulés et d'une ambition qui s'était structurée puis renforcée à l'épreuve du terrain, l'auteur de ces lignes, nommé directeur du DRASSM le 1er octobre 2006, fut ainsi en mesure d'annoncer dès le mois de février suivant son intention de faire des grands fonds, dans les dix ans, la nouvelle frontière de l'archéologie subaquatique. Le programme de l'*Archéologie des Abysse*s était né ! Soutenu avec constance par des chercheurs en robotique venus de tous les horizons, celui-ci allait définitivement ouvrir aux archéologues français le chemin du patrimoine culturel localisé bien au-delà des limites de la plongée humaine et en banaliser l'accès. Il allait aussi démontrer à ceux qui avaient pu ponctuellement en douter que l'esprit pionnier qui avait porté notre pays aux premiers jours de la discipline y demeurait toujours intensément vivace.

On a marché sur la *Lune* : quand l'exégèse historique participe de la futurologie

Le développement depuis 2007 du programme d'*Archéologie des Abysses* a procédé de plusieurs axes, dont trois furent déterminants. Le premier a porté sur la construction de navires de recherches archéologiques d'emblée conçus pour mener notamment des études d'épaves localisées à très grande profondeur ; le second s'est concentré sur l'ouverture d'un chantier laboratoire où seraient désormais expérimentés toutes les méthodes et les outils dont on souhaitait faire usage dans les abysses ; le troisième enfin, peut-être le plus ambitieux, s'est focalisé sur la conception et la fabrication d'équipements de prise de vues et de robots sous-marins multitâches spécifiquement élaborés pour mener des recherches archéologiques.

• Les navires du DRASSM

C'est donc cette volonté programmatique d'accéder aux grandes profondeurs qui a préludé après 2007 à la conception puis à la construction, de 2010 à 2012, du nouveau navire de recherche archéologique du DRASSM, l'*André Malraux*[16], puis, après 2015,

15. Luc Long, Louis F. Gantès, Pierre Drap, Premiers résultats sur l'épave étrusque Grand Ribaud F. (Giens, Var) : quelques éléments nouveaux sur le commerce étrusque en Gaule, vers 500 avant J.-C. *Cahiers d'Archéologie Subaquatique*, XIV, 2002, p. 5-40

16. L'*André Malraux* a ainsi remplacé *L'Archéonaute*, premier navire du DRASSM. Lancé en 1967, celui-ci a été mis « à la retraite » en 2006. Cf. Michel L'Hour, *De* L'Archéonaute *à l'*André Malraux *: portraits intimes et histoires secrètes de l'archéologie des mondes engloutis*, Arles, Actes Sud, 2012, p. 120-184.

à celles de son frère l'*Alfred Merlin*, pensé pour sa part pour s'affranchir des espaces océaniques afin de contribuer à l'épanouissement de la discipline dans les territoires ultramarins[17].

Lancé le 24 janvier 2012, l'*André Malraux* est un navire de 37 mètres de longueur pour une largeur de 9 mètres au maître couple et une jauge de 320 UMS. Au-delà de l'outillage traditionnellement indispensable aux expertises et fouilles sous-marines classiques, on trouve sur ce bâtiment tous les équipements nécessaires au déploiement des systèmes robotiques ROV et AUV ainsi que des sous-marins habités jusqu'à sept tonnes.

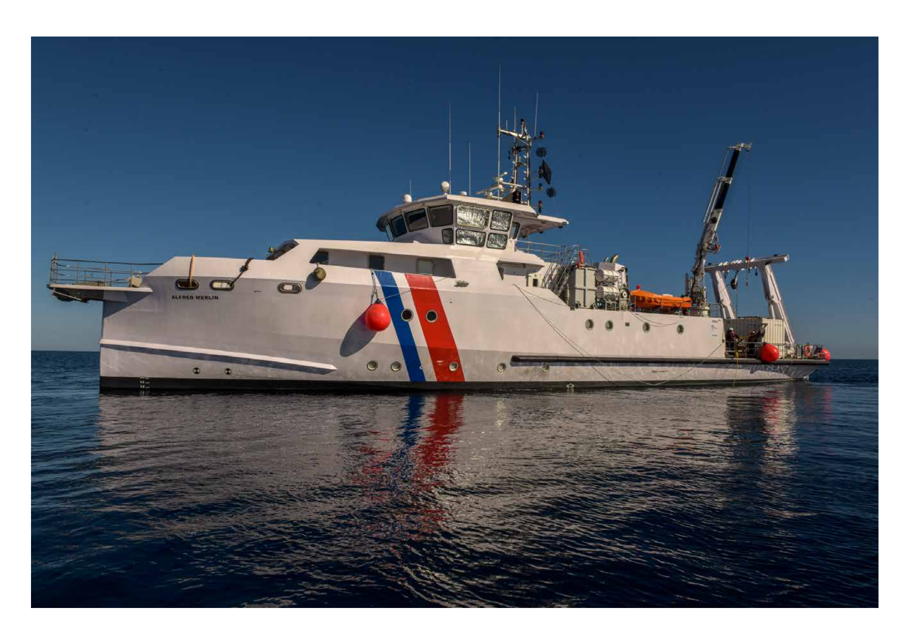
Dès sa mise en service, cette logistique a progressivement été mise en œuvre, en Méditerranée comme en Atlantique, où elle a rapidement démontré partout son efficience. Le DRASSM a ainsi multiplié ses interventions robotisées dans la zone des dix à cinq cents mètres, seul ou en association avec des partenaires aussi prestigieux que la Woods Hole Oceanographic Institution ou la Nuytco Research Company. De très nombreuses épaves ont été expertisées à cette occasion, des échantillons prélevés et des projets de fouille ont même, pour quelques-unes d'entre elles, d'ores et déjà été esquissés.

L'opportunité d'un appel à projet de l'Ademe sur les navires du futur[18] a conduit à nouveau l'auteur, après 2015, à envisager avec la société iXblue et le Bureau d'Etudes navales Mauric la construction d'un second navire, plus grand que le *Malraux*, afin d'accueillir les infrastructures logistiques indispensables aux plongées très profondes, TMS [19], treuil portant plusieurs kilomètres de câble ombilical, flotte de robots travaillant de concert, etc. Baptisé en juillet 2021, l'*Alfred Merlin* est un bâtiment de 46 m de longueur pour 10,80 m au plus large et 498 UMS de jauge. Définitivement accueilli au service actif au début de l'année 2022, ce navire a d'ores et déjà mené plusieurs campagnes de prospection électronique et d'expertises robotisées sur des sites localisés à très grande profondeur.

17. Sur la réflexion qui a préludé à la construction de ces deux navires, on lira utilement : L'HOUR Michel et *alii,* Des navires de recherche innovants : de l'*André Malraux* à l'*Alfred Merlin*, Revue de l'ATMA, n° 2767, 2021.

18. Piloté par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), le premier appel à manifestation d'intérêt (AMI) dans le cadre des investissements d'avenir dédié aux navires du futur a été lancé en juillet 2011. Initialement identifié comme le projet NESSIE, pour Novel Efficient Survey Ship InitiativE, le programme de construction du *Merlin* s'est inscrit dans le contexte du 3e AMI publié en juillet 2015.

19. Le TMS, pour Tether Management System, est le garage qui abrite le ROV et le porte jusqu'au niveau d'immersion souhaité. Un câble coaxial le relie au ROV auquel il fournit ainsi l'énergie nécessaire à ses activités.



Le navire de recherche archéologique *Alfred Merlin*, en mission au large de la Corse, février 2022.©*Frédéric Osada/Images Explorations.*

• Le chantier laboratoire de la *Lune*

Découverte en mai 1993 par le sous-marin *Nautile*, l'épave de la *Lune* gît par 90 m de fond à quelques milles du port militaire de Toulon. Aussitôt après sa découverte, le site a fait l'objet d'une rapide expertise conduite par les archéologues du DRASSM avec le soutien d'IFREMER. Cette opération a révélé que l'épave était remarquablement conservée. Dépassant du sédiment marin, où elle est partiellement enfouie, la *Lune* forme sur le fond un petit tumulus de 2 mètres de hauteur sur 42 m de long et 10 à 11 mètres de large, de sorte que l'on estime aujourd'hui entre 800 et 1500 m^3 le volume de la couche archéologique à étudier. La complexité du site et la difficulté dans les années 1990 à mener à bien un projet d'étude ambitieux par près de 100 m de fond ont conduit le DRASSM à cocooner la *Lune* à l'issue de l'expertise.

Fruit de l'évolution précédemment évoquée, l'idée s'est cependant imposée à l'auteur, en 2007, de réveiller l'épave et d'y programmer un chantier-laboratoire où seraient à l'avenir expérimentées et développées les machines et les méthodes appelées à faciliter demain l'expertise et la fouille des vestiges archéologiques de grande profondeur. Le site, il est vrai, se prête admirablement à une telle initiative.

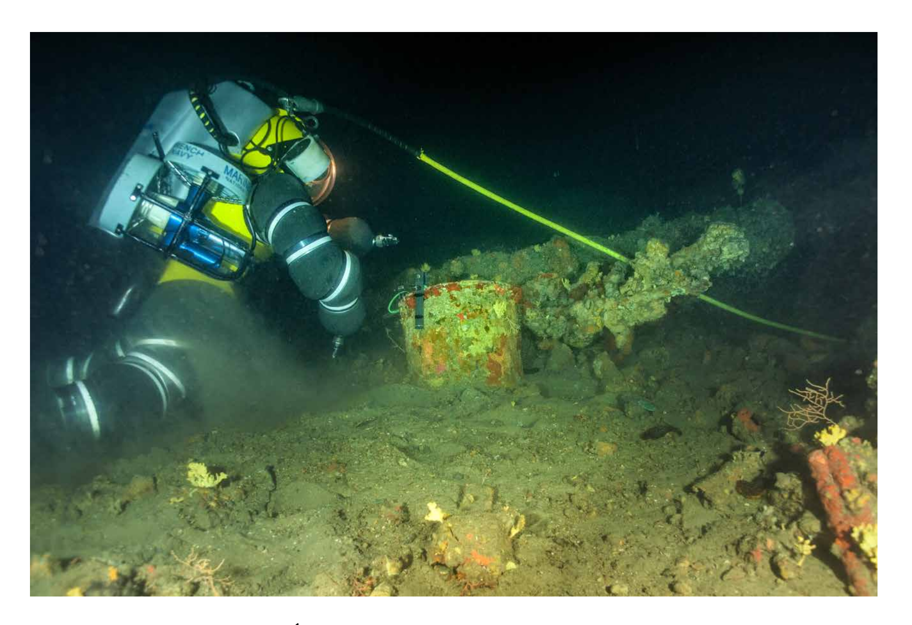
Vaisseau à deux ponts et 54 canons, la *Lune*, fut sans doute l'un des navires les plus emblématiques de la marine royale française de la première moitié du XVIIe siècle. Construit entre 1639 et 1642 en aval de Nantes, il a pratiquement participé durant près de 25 ans à presque toutes les batailles navales du premier quart du règne de Louis XIV. C'est d'ailleurs sans doute pour cette raison que Pierre Puget, célèbre sculpteur, peintre et architecte français du XVIIe siècle, l'a dessiné en 1654 avec deux autres vaisseaux, la *Reine* et le *Jupiter*. Missionnée en 1664 pour ravitailler un corps expéditionnaire français à Djidjelli, sur les côtes de l'actuelle Algérie, la *Lune* revenait à Toulon, prodigieusement surchargée d'une cargaison de vivres, d'armes, de munitions et d'une armée en déroute lorsque l'Intendant de la marine du Roi l'a contrainte par tempête à repartir s'abriter près des îles d'Hyères pour y demeurer le temps d'une quarantaine sanitaire. Las, les éléments déchainés allaient en décider autrement ! Après avoir appareillé de Toulon dans la matinée du 6 novembre 1664, le navire, à cinq nautiques du port militaire, a sombré si rapidement que les rares témoins du naufrage ont déclaré qu'il avait coulé *comme un marbre.* Il y eut près de 800 à 1000 victimes et très peu de survivants, sans doute moins de 40 hommes[20].

De 2012 à 2016, plusieurs opérations dirigées par l'auteur ont permis de tester sur le site, en conditions réelles, un très grand nombre de robots, d'AUV et de systèmes de plongée industriels, militaires et scientifiques ainsi qu'un scaphandre Newsuit capable d'emmener un humain en pression atmosphérique jusqu'à une profondeur de 300 m. L'équipe d'*Objectif Lune* - puisque le projet fut ainsi nommé - a par ailleurs mis à profit ces multiples opérations pour définir le cahier des charges, concevoir, construire et expérimenter ses propres équipements robotiques. La fouille a enfin permis d'inviter chaque année et d'associer aux réflexions puis aux campagnes d'essais des chercheurs en robotique et des industriels venus de tous les horizons [21]. Des systèmes de prises de vue ont également été conçus puis construits et testés tout au long de ces années d'opération, d'abord sur la *Lune* puis sur des épaves de plus en plus profondes.

Bénéficiant sur ce programme du DRASSM d'un environnement nettement plus proche de l'esprit d'une start-up que d'un service administratif, les personnels scientifiques et techniques associés à *Objectif Lune* ont redoublé d'inventivité, se stimulant les uns les autres au cours de séances de brainstorming demeurées pour beaucoup mémorables. Les résultats acquis en quelques années ont de la sorte dépassé, et de loin, les aspirations initiales. Non content de donner naissance à une véritable famille de robots totalement innovants, l'équipe a ainsi su créer de 2015 à 2022 les conditions pour réussir plusieurs Premières Mondiales qui ont attiré l'attention

20. Pour disposer de plus d'informations sur l'histoire de la *Lune*, cf. : L'HOUR Michel, L'exploration de la *Lune* (1664) : un chantier laboratoire pour l'archéologie des abysses, *Cahiers d'archéologie subaquatique*, XXII, 2014, p. 149-187.
21. On ne peut raisonnablement pas envisager de les citer tous ici. Que chacun trouve en revanche en cette occasion l'expression de nos plus chaleureux remerciements.

internationale sur les recherches menées dans notre pays[22]. Au cours de ces multiples opérations, les archéologues ont par ailleurs improvisé de nouvelles manières de travailler. Contrairement aux industriels ou aux militaires qui répugnent à mobiliser des robots en coactivité, ils ont ainsi multiplié les opérations associant simultanément plusieurs machines, parfois quatre ou cinq, sur le fond. L'acquisition d'un tel savoir-faire était en vérité indispensable car il est de notoriété que l'étude méthodique d'une épave, qu'elle soit immergée à grande profondeur ou pas, ne peut être réalisée en mettant en oeuvre une seule machine à la fois sur le fond de la mer. À cette allure, l'étude exhaustive d'un gisement archéologique réclamerait des siècles et ne saurait en conséquence être envisagée.



Toulon. Épave de la *Lune* (- 91 m). Un scaphandre Newsuit de la Marine nationale française prélève un chaudron dans la zone de cuisine du navire. Expertise M. L'Hour 2012.
© *Frédéric Osada -Teddy Seguin/DRASSM.*

22. *Nul n'est prophète en son pays*, c'est donc souvent de l'étranger que sont venus les commentaires les plus encourageants ainsi que les propositions de coopération les plus « dangereusement » séduisantes… Pour les chercheurs français la tentation du large n'en est que plus grande… Il serait bon que nos élus en aient conscience !

•Expertiser, photographier, analyser, prélever…, stratégie de rupture et pas de géant

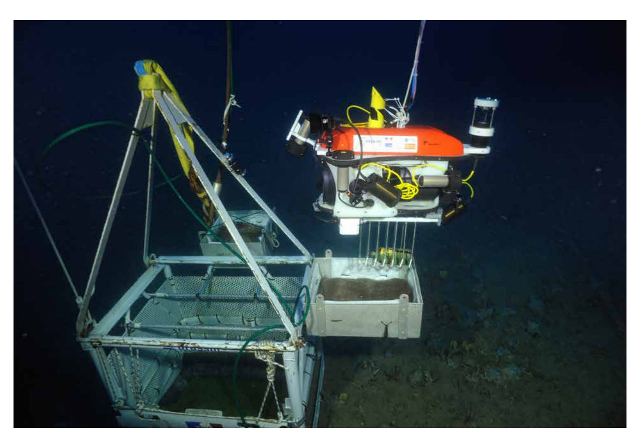
Plus particulièrement associé dans cet objectif avec le Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier (LIRMM)[23], le DRASSM a depuis 2012 établi le cahier des charges et supporté la construction d'une flotte de robots spécifiquement conçus pour œuvrer sur des sites archéologiques avec la dextérité, la souplesse et la maîtrise technique que l'on attend d'un archéologue subaquatique chevronné. Au cours de ce processus, une attention particulière a notamment été portée à la question du prélèvement des mobiliers archéologiques qui est depuis toujours l'un des grands défis. Les bras hydrauliques qui équipent la majorité des robots industriels ou militaires ne sont guère adaptés en effet à la manipulation ou à la saisie d'objets infiniment fragiles, chaque tentative mettant dès lors les artefacts en danger.

Parallèlement, et dans ce même état d'esprit, l'on s'est efforcé de dresser un catalogue exhaustif des compétences techniques et des aptitudes qu'un dispositif robotique devrait présenter pour remplacer un humain de manière efficace. Enfin, s'inspirant des trois lois de la robotique inventées en 1942 par l'auteur américain de science-fiction Isaac Asimov, les archéologues ont adopté pour principe que leurs robots devraient impérativement satisfaire à une triple exigence : être aussi légers et aussi petits que possible afin d'être aisément déployés depuis le type de navire, généralement de tonnage modeste, affrété par les archéologues ; être simples à piloter, de sorte que tout archéologue puisse apprendre en quelques heures seulement à les mettre lui-même en œuvre : restituer enfin à son pilote archéologue les mêmes ressentis, le même toucher, le même feeling de la nature d'un objet, de sa composition et de sa résistance, que ceux qu'il éprouve lui-même en plongée, au contact du mobilier à étudier. En d'autres termes, le robot devait pouvoir prendre la place d'un plongeur humain tout en permettant à son pilote, archéologue, de contrôler ses mouvements, d'analyser la nature ou l'état des objets découverts puis de les prélever en toute sécurité. L'objectif était ainsi rien moins que d'inventer des robots qui ne seraient que la projection sous-marine du chercheur demeuré en surface, au point que le pilote humain en oublierait bientôt qu'il n'était pas réellement lui-même sur le fond marin au contact du site.

Peu encombrants et d'un poids inférieur pour chacun à 100 kg, extrêmement maniables et aisés à piloter, munis de griffes souples de préhension capables de s'adapter sans aucun risque de casse à la morphologie des objets archéologiques prélevés, dans la limite toutefois d'une charge unitaire de 20 kg, dotés de noms qu'un esprit potache seul

23. Il convient de rendre plus particulièrement hommage ici au travail accompli à cet égard par Vincent Creuze, enseignant-chercheur au LIRMM, et à l'université de Montpellier qui n'a cessé de favoriser cette coopération, ainsi qu'à Denis Dégez (DRASSM) qui au fil des années a accompagné avec brio tous nos travaux.

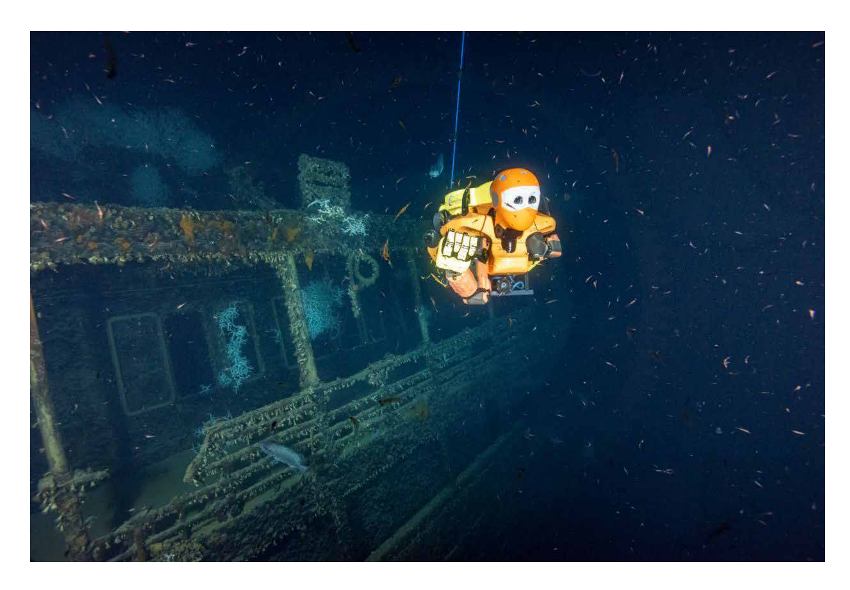
pouvait inventer, les robots *Speedy*, *Leonard, Bidouble, Griffouble, Dumbo* et quelques autres, dont le dernier né, *Arthur*[24], capable d'œuvrer jusqu'à 2500 m de fond, ont été conçus et construits pendant cette période de folle gestation et de maturation. Tous se sont progressivement rapprochés de l'idéal recherché jusqu'à l'émergence du programme *Ocean One* dont la suprématie opérationnelle devrait à terme s'imposer à tous les autres, de sorte que ces prédécesseurs n'auront plus vocation par la suite qu'à peupler son environnement marin en l'accompagnant et l'assistant dans ses multiples tâches sur le fond.



Le robot *Speedy* prélève une bouteille en verre sur le site de la *Lune*. Expertise M. L'Hour 2014. © *Frédéric Osada - Teddy Seguin/DRASSM.*

Né du génie robotique du professeur Oussama Khatib, directeur du Stanford Robotics Lab de l'université californienne Stanford, *Ocean One* sera bientôt en mesure de se déplacer et d'entreprendre des opérations complexes sous l'eau tout en procurant à son pilote humain, grâce à ses yeux et à ses mains haptiques, les sens du toucher et de la vue, deux facteurs absolument fondamentaux pour les archéologues. Capable de satisfaire à terme l'ensemble des exigences méthodologiques imposées par les chercheurs du DRASSM, offrant à son pilote archéologue une vision tridimensionnelle du site prospecté, *Ocean One* a déjà démontré son aptitude à prélever une céramique catalane du XVIe siècle en avril 2016 sur l'épave de la *Lune*, une Première Mondiale pour un humanoïde, puis à battre en février 2022 le record du monde de plongée pour ce même type de concept robotique en œuvrant au-delà de 850 m de fond au large de Cannes.

24. Synthèse technologique de tous ses prédécesseurs, *Arthur* dispose pour sa part d'une TMS.



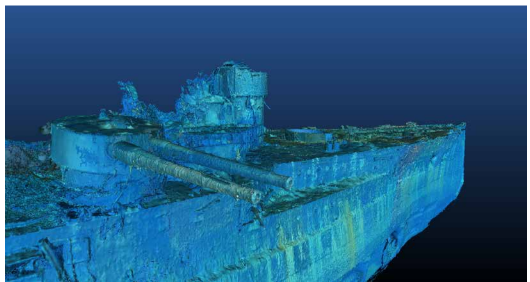
Le robot humanoïde *Ocean One K* explore en février 2022, par 507 m de fond, le paquebot italien *Francesco Crispi*, torpillé le 19 avril 1943 au large de la côte orientale de la Corse. Réquisitionné, le navire acheminait des troupes italiennes en Corse, hommes du 1er Régiment de Grenadiers et soldats du corps d'artillerie de Modène. Expertise F. Cibecchini – M. L'Hour 2022. ©*Frédéric Osada/DRASSM*

À terme, *Ocean One* devrait en outre bénéficier des travaux conduits par les partenaires du programme *SeaHand* de l'Agence Nationale de la Recherche[25]. Piloté par l'institut P'Prime de Poitiers, ce programme, auquel le DRASSM est associé depuis l'origine, vise à l'élaboration d'une main haptique marinisée. Un premier prototype a été finalisé qui sera sans doute testé en 2022 dans un environnement sous-marin. Si le concept démontre, comme on le croit, sa pertinence, il conviendra alors de miniaturiser *SeaHand* de manière à l'adapter à la prochaine génération des humanoïdes successeurs d'*Ocean One*. Plus rien ne s'opposera dès lors à ce que l'on travaille dans 1000 ou 2000 mètres d'eau avec autant d'aisance et de satisfaction qu'on en éprouvait dans les années 1990 à œuvrer par 20 mètres de fond avec des bouteilles de plongée sur le dos.

Dans le temps de toutes ces opérations, les archéologues du DRASSM et leurs partenaires du LIRMM, mettant à profit les savoir-faire continûment développés depuis les années 1990 dans le domaine de la prise de vue et de la restitution photogrammétrique, ont conçu et mis au point des caissons photo et vidéo habiles à travailler jusqu'à 2 000 mètres de fond. Ils ont aussi fait construire à cette occasion

25. On trouvera plus de détails sur ce projet en consultant le lien web suivant : https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/une-main-robotisee-pour-saisir-des-objets-archeologiques-fragiles-en-eaux-profondes-le-projet-anr/

des éclairages sous-marins de très grande puissance, près de 900 000 lumens, capables d'œuvrer à ces mêmes profondeurs. Ces équipements ont ainsi permis à l'auteur, associé à l'archéologue Franca Cibecchini, du DRASSM, de réaliser en deux campagnes, en avril 2015 et août 2016, par 1 025 m de fond, la couverture 3D de l'épave du *Danton*, cuirassé français de 19 000 tonnes et de 156 mètres de long sombré en 1917 au sud de la Sardaigne [26]. Cette autre Première Mondiale conduite sur le *Danton* s'est prolongée depuis 2015 par nombre d'autres relevés photogrammétriques effectués sur maintes épaves antiques localisées à des profondeurs comprises entre 100 et 500 mètres. Ces missions d'expérimentation, devenues quasiment de routine, ont à leur tour permis d'améliorer considérablement les techniques de capture d'images mises en œuvre par les archéologues et d'optimiser leur capacité à analyser scientifiquement les données ainsi collectées.



Sud-Sardaigne. Epave du *Danton*, cuirassé français torpillé par le U-Boote U-64, le 19 Mars 1917, et coulé par 1025 m de fond. Expertise F. Cibecchini – M. L'Hour 2016. Couverture *©Frédéric Osada/Images Explorations. Traitement et restitution 3D : Daniela Peloso/Ipso Facto.*



Sud-Sardaigne. Epave du *Danton.* Par 1025m de fond, l'une des tourelles de 240 du *Danton* surgit de la pénombre abyssale. Expertise F. Cibecchini – M. L'Hour 2015. *©Frédéric Osada/Images Explorations.*



Sud-Sardaigne. Epave du *Danton*. Sur le flanc tribord du navire, les hublots sont encore ouverts qui donnent accès au cœur de l'épave. Expertise F. Cibecchini – M. L'Hour 2015. *©Frédéric Osada/Images Explorations.*

26.Le public du Musée national de la Marine devrait ainsi, dès la réouverture de cet établissement en 2023, avoir l'opportunité de visiter en 3D ce dreadnought français torpillé le 19 mars 1917 par le U-Boote U-64. Sur ce travail de prise de vue et de restitution 3D, cf. L'HOUR Michel *et alii*, Donner à visiter un cuirassé dans les abysses : le « Projet *Danton* », *In Situ*, 42, 2020 Édition électronique URL : https://journals.openedition.org/insitu/pdf/28211, 23 pages.

• Dans les abysses, le passé de l'humanité a peut-être un avenir

Les progrès accomplis en quelques années ont été, on le voit, si considérables que l'archéologie des abysses, que nombre de chercheurs aspiraient depuis plusieurs décennies à voir se matérialiser, est devenue aujourd'hui pour les archéologues français une réalité. Longtemps vécue comme un rêve inaccessible, la possibilité d'étudier des épaves situées à très grande profondeur s'est peu à peu inscrite dans le quotidien des chercheurs du DRASSM sans même qu'on ne s'en étonne ; au point que l'interrogatif « comment ? » a pratiquement été remplacé aujourd'hui par la question « quand ? » lorsqu'on évoque la possibilité de programmer une telle opération.

Si pendant de nombreuses décennies les archéologues sous-marins français ont été dépendants des océanographes, des militaires ou des industriels pour accéder aux grandes profondeurs, ce n'est plus le cas aujourd'hui. En gagnant de l'expérience d'abord, en développant leur propre gamme d'appareils robotiques ensuite, ils se sont assurés les compétences nécessaires pour concevoir et construire désormais plus rapidement et avec plus de facilité des robots de plus en plus complexes et de plus en plus efficaces. Il était urgent de se mobiliser ! Longtemps protégées par une profondeur d'immersion qui les tenait à l'écart des activités humaines, les épaves profondes sont aujourd'hui très directement menacées, notamment par les chaluts de grand fond. Ce constat est d'autant plus tragique que cet extraordinaire et fragile héritage, que des civilisations et des sociétés méconnues, négligées ou disparues, ont confié à notre présent pour en instruire les générations du futur est, à l'image de maintes ressources naturelles, irremplaçable et pas inépuisable. Il relève en conséquence de notre responsabilité, individuelle et collective, d'en assurer la protection, analyser les leçons et garantir la pérennité. C'est même l'une des missions les plus cruciales qu'il nous incombe d'assumer et dont nos sociétés ne devraient en aucun cas pouvoir s'exempter.



Côte orientale de la Corse. Epave dite Aléria 1 (- 334 m). Perdue entre 90 et 130 apr. J.-C.,t cette cargaison de lampes à huile et d'amphores à vin, à huile et à conserve de poissons a été littéralement pulvérisée par le passage d'un panneau de chalut. Expertise F. Cibecchini 2013. ©*DRASSM.*

Enfouies sous l'océan planétaire, des millions d'épaves attendent les scientifiques qui sauront les étudier et en garantir la pérennité. Dotée du second espace maritime du monde, réparti de l'Atlantique au Pacifique et de l'océan Indien à la Méditerranée, la France recèle probablement en ses eaux profondes des milliers de sites culturels immergés. L'océan cependant a ses frontières dont la profondeur n'est pas la moins malaisée à franchir. Cette bathymétrie verrouille sans faiblesse la porte des abysses où sont tapies quelques-unes des épaves les mieux préservées. Dans l'esprit des pionniers, dont ils sont en tout point les authentiques héritiers, les archéologues du DRASSM ont noué ces dernières années des alliances robotiques, pour en faire tomber les barrières. Des prototypes ingénieux et un humanoïde en sont nés. Au fil des expérimentations, ces machines ont appris à s'émanciper de la profondeur puis à copier les humains dont elles seront bientôt les avatars dociles. De nouvelles technologies de rupture sont par ailleurs en passe d'émerger qui vont favoriser cette évolution. Passionné du patrimoine ennoyé, l'archéologue des mondes immergés exerce, comme son collègue demeuré à terre, une lourde responsabilité : demeurer le traducteur fidèle d'une langue commune que l'on nomme « l'histoire de l'humanité ». Depuis les années 1980, les archéologues du DRASSM n'ont cessé pour cette raison de lutter pour qu'aucun vestige immergé ne soit abandonné ou négligé. De nouvelles générations de chercheurs devront désormais prendre leur relais. Il faudra donner à ces derniers les moyens de poursuivre l'œuvre accomplie.

Tapi dans les abysses séjournent des épaves qui sont à notre humanité ce que Nicolas Flamel ou Michel de Nostre-Dame eux-mêmes n'ont jamais possédé : de véritables machines à remonter le temps. Pour en percer les secrets, il nous revient de les inventorier, de les étudier et de les valoriser. Après que les archéologues ont sillonné pendant plus d'un demi-siècle les univers côtiers, l'abysse s'impose sans conteste aujourd'hui comme la nouvelle frontière de l'archéologie.

Grands fonds marins, naissance d'une nouvelle ère ?

Francis VALLAT
Fondateur et président d'honneur du Cluster maritime français (CMF) Président du Groupe de Synergie « Grands fonds marins » du CMF

Quand j'entends tout ce qui se dit autour d'une problématique aussi complexe que celle des Grands Fonds Marins, quand j'ai moi-même la tentation de céder à l'appel de la facilité (« C'est tout simple, pour protéger l'Océan qui est notre avenir et qui est déjà tellement agressé et empoisonné, il suffit de ne pas y toucher »), quand parfois tout se conjugue pour éloigner le rapprochement des hommes de bonne volonté de ce dossier propre à déchaîner les passions, alors je suis partagé entre l'envie de céder à la tentation de Venise, et au contraire la volonté de démontrer pourquoi les défenseurs acharnés de la planète devraient soutenir une démarche illustrant au plus haut point les chances et les vertus cruciales du Développement Durable.

Pour ce faire, le premier impératif est de rappeler le contexte général dans lequel se trouvent à la fois la Terre et l'Humanité. Avec son cortège de constats incontestables :

• Notre planète est dans une situation catastrophique. Elle est condamnée à court terme si l'Océan est plus fragilisé qu'il ne l'est aujourd'hui.

• L'être humain, principal prédateur du monde vivant, a démontré sa capacité destructive, toujours à l'œuvre comme le démontrent par exemple l'espace transformé en poubelle ou la montée - non enrayée et insuffisamment compensée - de la production de plastique.

• L'Homme, capable du pire mais aussi du meilleur, n'en n'a pas moins droit à la vie lui aussi.

• La pression économique et sociale de l'évolution démographique des deux prochaines décennies - pic prévu en 2050 avec près de trois milliards d'êtres humains de plus qu'aujourd'hui - est incontournable, sauf à accepter la mort programmée de centaines de millions d'hommes, de femmes et d'enfants.

• L'avenir de notre planète habitée ne pourra être sauvé qu'avec l'Homme et non contre l'Homme. Il est donc illusoire d'espérer arriver à protéger les générations futures sans l'adhésion des générations présentes.

• Le changement de rythme dans les activités de recyclage de toutes les formes de déchets est une nécessité, mais hélas il ne sera pas suffisant à l'échelle du monde dans les vingt ans qui viennent. Accélérer est indispensable, mais trop de retard a été pris pour être « dans les temps ».

• Les besoins de matières premières (dont les métaux rares requis par l'indispensable transition énergétique - éoliennes, batteries... - comme par l'irréversible

digitalisation) sont énormes et exponentiels. Or il y a, de par le monde, des acteurs (Etats ou entités privées) prêts à avancer sans le moindre scrupule, indifférents à l'avenir de l'humanité comme à celui de la planète. Des entités qui ne respecteront aucune règle s'ils ne sont pas contraints par un cadre les obligeant à bien se comporter. Du coup la seule voie possible pour l'avenir est d'imposer le Développement Durable, partout et à chaque fois que cela est possible. C'est certes un défi qui pose des questions parfois désagréables et complexes, mais ce sont ces questions qu'il faut mettre sur la table au lieu de les ignorer avec une bonne conscience habillée en vertu, mais en réalité irresponsable.

Travailler en coalition

De cette première conclusion, et au nom du sauvetage de la mer, découle le deuxième impératif :

Le temps est venu - c'est même d'une urgence cruciale - que toutes les parties prenantes travaillent en coalition. Une coalition qui ne réunisse pas seulement toutes les ONG préoccupées de l'avenir de l'Océan comme c'est le cas aujourd'hui, mais tous les responsables concernés par cet enjeu vital, quelle que soit leur origine. Y compris les politiques, les professionnels et naturellement les représentants de l'économie et plus particulièrement de l'industrie. L'objectif étant d'étudier, voire de dégager ensemble à marche forcée, les solutions les plus ambitieuses mais aussi les plus réalistes pour le futur.

J'ajouterais, pour les sceptiques que j'entends déjà ironiser, qu'il ne s'agit pas nécessairement d'un rêve inaccessible... pour peu qu'on en décide. J'invoquerais à cet égard quelques « précédents » encourageants de victoires majeures, trop vite oubliées bien que récentes, et sur lesquelles à l'époque personne n'aurait parié. Je pense par exemple à la reconstitution de la couche d'ozone (dont la réduction menaçait déjà la vie humaine comme nombre d'autres formes de vie, et semblait condamner la Terre inéluctablement), ou à un moindre degré, à la disparition des dégazages et déballastages sauvages dans les eaux européennes. Dans les deux cas le phénomène paraissait insoluble, mais grâce à l'action de personnes déterminées, de quelques gouvernants prenant le risque de l'impopularité, et à la mobilisation presque brutale de tous les « stake-holders », l'homme a fini par trouver, articuler et imposer les solutions. En quelques années à chaque fois !

Aujourd'hui, face au dérèglement climatique, nous sommes à nouveau très en retard, le dos au mur, et en outre désemparés par la complexité des défis à surmonter simultanément. Mais si nous acceptons d'être moins dogmatiques les uns vis-à-vis des

autres, si nous utilisons les trois années à venir (écoutons et entendons le GIEC qui nous a fixé le calendrier !) pour dépasser les préventions de chacun, nous pouvons avoir une chance. Il faut, à tout prix, éviter que les ONG continuent de ne se parler qu'entre elles, laissant les industriels poursuivre - eux aussi entre eux - leur route en parallèle. Avec le risque que finalement rien ne soit fait ou, pire encore, le soit mal…

Des pistes et orientations crédibles

Ce qui nous amène au troisième impératif : analyser objectivement les conclusions provisoires d'un groupe de travail français, le Groupe de synergie « Grands fonds marins » du Cluster maritime français, qui, sans bruit, rassemble depuis une douzaine d'années entreprises, associations, instituts de recherche et, de manière régulière ou épisodique, nombre d'administrations et d'ONG. Or quelques-unes des pistes et orientations dégagées par les travaux de ces experts et « sachants » sont particulièrement pertinentes… et crédibles !

- Identification de dix étapes nécessaires - sur le plan technique et des précautions environnementales - entre la première phase d'exploration et l'éventuelle phase initiale d'exploitation.

- Engagement solennel pris par tous, industriels en tête, que rien ne se passera (et surtout pas d'activité minière) s'il n'y a pas de garantie que les écosystèmes marins seront préservés.

- Même engagement que rien ne sera fait sans que les populations éventuellement concernées aient été associées aux décisions et/ou soient partie prenante des différentes étapes.

- Prise de conscience définitive que, au moins dans nos ZEE, la question des Grands Fonds Marins est un défi structurant pour des approches communes Métropole-Outremer, supposant en lui-même un dialogue équilibré et gagnant-gagnant (chacun ayant besoin des autres et tous étant français).

- Volonté de tous, qu'il s'agisse de l'exploration ou de l'éventuelle exploitation, de respecter des procédures assurant la transparence totale des opérations.

• Enfin, proposition d’une méthodologie paraissant inattaquable de bonne foi. Grosso-modo :

-Réalisation du démonstrateur-pilote évoqué dans la stratégie nationale française de 2021 avec l’accord de tous (une initiative réclamée d’ailleurs, au départ, par les environnementaux, dont l’architecture complexe a été pensée par toutes les parties concernées, et à la gouvernance de laquelle tous les acteurs ont convenu que les ONG devraient être associées).

- Approche « en cliquet », étape par étape, avec décision, à chaque stade, de poursuivre ou non, et ce via une gouvernance associant sur chaque site toutes les parties concernées, y compris les observateurs extérieurs, les régulateurs, et là encore des ONG ...

C’est dans cet esprit qu’un dialogue, difficile mais franc et opiniâtre, a été voulu et établi avec de grandes ONG, et que j’avais d’ailleurs accepté d’écrire, l’année dernière, le livre « Notre avenir s’écrit dans l’Océan » avec Isabelle Autissier, présidente d’honneur du WWF.

D’autres raisons d’espérer

Je voudrais enfin ajouter quelques ultimes observations porteuses d’espoir :

• Les jeunes générations, y compris dans le monde industriel, acceptent et accepteront de moins en moins de compromettre sur l’environnement. Or aujourd’hui ce sont elles qui sont ou commencent à arriver aux commandes.

• Le bon sens vient à la rescousse et plaide en faveur de la vraisemblance d’une bascule imminente et encourageante. Il est de plus en plus évident, en effet, que l’intérêt même des industriels sera de plus en plus de ne pas prendre le risque d’investir dans les Fonds Marins s’ils ne sont pas prêts à démontrer clairement qu’ils respectent les règles et procédures les plus contraignantes, et qu’ils peuvent faire face à toutes les exigences. Le risque serait bien trop important, en cas d’arrêt du « chantier » (dû par exemple au non-respect de leurs obligations), qu’ils perdent les millions investis dans chaque site pour des opérations à très forte valeur ajoutée. C’est d’ailleurs l’une des raisons de se battre pour que tous, dans le monde, aient à se soumettre aux mêmes obligations, sans se contenter de l’argument de certains acteurs (juste mais insatisfaisant) qu’un site minier ne représentera jamais qu’une tête d’épingle dans l’immensité océanique.

• C'est aussi pour cela, dans un autre domaine, qu'il faut être circonspect vis-à-vis des attaques irréfléchies entendues ici ou là contre l'Autorité Internationale des Fonds Marins (AIFM), que ce soit de la part des ONG les plus extrêmes ou à l'inverse de ceux qui aimeraient pouvoir s'affranchir de ses règles. Certes la vigilance et la prudence sont et seront de mise tant que le nouveau code minier international travaillé par l'AIFM ne sera pas publié et analysé, mais ne disqualifions pas, à l'avance, la seule institution au monde ayant la légitimité et la compétence pour publier des réglementations universelles. Autrement dit les seules barrières susceptibles d'imposer une approche responsable de la part d'opérateurs ou d'Etats qui rêvent « d'avancer » sans contraintes... sans oser l'afficher.

Ensemble pour une nouvelle Ere

Ma conviction est que le traitement du dossier « Grands Fonds Marins » pourrait bien être la première réalisation et le plus beau symbole d'une nouvelle ère. Une ère exemplaire où exploration ou prospection ne signifieront pas automatiquement exploitation, où l'ensemble des parties prenantes aura conscience que le dialogue n'est pas une option mais une obligation, où l'exploitation éventuelle ne pourra se faire sans la certitude avérée de pouvoir limiter efficacement les impacts sur la biodiversité marine. Une ère enfin où s'imposeront, à chaque fois et sur chaque site, la transparence, les règles adaptées, et le respect de contrôles définis précisément grâce à la connaissance issue de l'exploration.

Ce faisant, nous serons en outre dans l'esprit des Pères fondateurs de Montego Bay qui furent les pionniers du concept de « Mer, bien commun de l'humanité », et qui d'ailleurs créèrent en son nom le premier mécanisme de rétrocession d'une partie des richesses générées en haute mer, aux pays en voie de développement. N'y avait-il pas là, déjà, la prémisse prometteuse d'une nouvelle ère ?

L’enjeu de la protection des Grands Fonds

Sabine ROUX de BEZIEUX,
Présidente de la Fondation de la Mer
Vice-présidente de la Commission Affaires européennes et internationales du CESE

Infiniment lointains et plongés dans le noir absolu, l'espace et les abysses fascinent. Alors que le satellite James Webb nous fait entrevoir des évènements qui se sont déroulés il y a plus de 13 milliards d'années dans l'espace, l'Océan profond demeure le grand inconnu de la planète. Pourtant, la vie est née dans l'Océan il y a quatre milliards d'années.

Souvent, craignant leur exploitation intensive, les défenseurs de la protection des grands fonds marins sont taxés d'obscurantisme. Explorer et protéger est pourtant un choix éclairé.

Nous le savons, alors que les stocks facilement accessibles de terres et de métaux rares à terre s'amenuisent, la transition écologique et numérique en nécessitera des quantités massives. Or les grands fonds marins en regorgent et la compétition pour l'accès à ces ressources indispensables est rude. Si la France ne s'y engage pas très vite, d'autres pays le feront. Pourquoi donc renoncer à l'exploitation ?

Quatre raisons pour renoncer à l'exploitation

Les grandes profondeurs nous rendent de précieux services et l'exploitation minière des grands fonds marins pourrait avoir des effets dramatiques. Poursuivre activement le travail de connaissance est primordial, avant d'envisager tout projet d'exploitation, et cela pour quatre raisons principales.

Tout d'abord, les scientifiques nous alertent sur la libération du carbone stocké à long terme dans les profondeurs, que pourrait provoquer l'exploitation. En effet, 30% du CO2 émis dans l'atmosphère est absorbé par l'Océan pour ensuite être stocké dans les fonds marins. Des processus physiques et biologiques font ainsi des profondeurs un puits de carbone irremplaçable : le CO2 dissous dans l'eau froide, plus dense, descend dans les fonds marins et les phytoplanctons, en mourant, transfèrent le carbone de la surface vers les grands fonds. La perturbation de ces phénomènes pourrait mettre en péril cette **fonction de puits de carbone.**

Ensuite, l'Océan profond ne serait-il pas essentiel à la **régulation climatique de la Terre ?** Françoise Gaill, biologiste spécialiste des écosystèmes profonds, et présidente du Conseil scientifique de la Fondation de la Mer, pense que le fond de l'Océan est le cœur de la machine climatique. 90% de l'excès de chaleur produit par l'effet de serre a déjà été absorbé par l'Océan, et 43% par les seuls grands fonds marins (au-delà de 700 mètres). De quoi s'interroger sur l'exploitation qui pourrait nous faire perdre notre meilleur allié climatique.

En troisième lieu, les conséquences sur les espèces des grands fonds induites par **les panaches d'extraction des minerais sont incalculables**, d'autant plus que la vie dans les grands fonds est majoritairement inconnue aujourd'hui. Il est ainsi estimé que la zone mésopélagique (200 à 1000 mètres de profondeur) abrite plus d'un million d'espèces marines encore non décrites à ce jour et qu'on peut y trouver 90% de la biomasse des poissons, ce qui représenterait 1,3 tonne de poissons par être humain. Les scientifiques nous disent aussi que les cheminées hydrothermales et les monts sous-marins, au-delà de mille mètres de profondeur, regorgent d'une biodiversité qui risquerait d'être anéantie avant même d'être connue.

Enfin, **les grands fonds marins ne doivent pas être pensés par le monde économique seulement comme une gigantesque source de minerais et de métaux**. Cette approche fait oublier d'autres ressources exceptionnelles qui ont le mérite d'être renouvelables. Les applications dans le domaine de la santé et de la cosmétique n'en sont ainsi qu'à leurs balbutiements. Les gènes des organismes extrêmophiles des sources hydrothermales, résistants à des températures de 2 à 400 degrés et s'adaptant à des rejets de méthane et d'hydrogène, peuvent être des solutions pour l'humanité.

L'exploration des grands fonds marins pourrait être à l'origine d'une nouvelle classe d'antibiotiques. C'est ce que suggère le scientifique Kerry Howell de l'université de Plymouth. Trois quarts des éponges et des coraux des abysses contiennent potentiellement des composés utiles à leur fabrication. Sans nouveaux antibiotiques, le nombre de décès par résistance aux médicaments pourrait atteindre dix millions de personnes par an en 2050. En effet, la dernière classe d'antibiotiques introduite sur le marché date d'il y a trente ans, mais les bactéries évoluent. En plus de fournir les médicaments de demain, cette exploitation biologique n'entraînerait pas de dégradation directe des ressources. Comme le souligne le scientifique de l'IFREMER, Pierre-Marie Sarradin : « Des micro-organismes qui y sont prélevés peuvent ensuite être reproduits en grande quantité en laboratoire, afin d'en exploiter certaines molécules ».

Alors que 90% des brevets déposés aujourd'hui sur les ressources génétiques marines sont déjà issus des sources hydrothermales, pourquoi prendre le risque de les détruire ?

Les ressources inertes des fonds marins doivent donc passer après les ressources vivantes : leur exploration est capitale, non seulement pour connaître et comprendre le fonctionnement et l'interaction entre les espèces, mais aussi pour étudier tout le potentiel des abysses pour l'avenir de l'Homme.

Existe-t-il une alternative à l'exploitation des ressources minérales dans les grands fonds marins ?

Des alternatives à l'extraction des ressources minérales dans les grands fonds marins existent. En premier lieu, il s'agit d'investir massivement dans **le recyclage de métaux en préférant les "mines urbaines", ces ressources stockées dans nos placards, entrepôts ou décharges, aux mines sous-marines**, dont les activités seraient menées loin de tout regard. Aujourd'hui, selon l'International Panel for Resource Management de l'ONU, 34 des 37 métaux rares ont un taux de récupération mondial inférieur à 1%. Or l'Europe estime que trois cent cinquante mille emplois pourraient être créés si une politique d'économie circulaire des matières premières sensibles était mise en place. **La Fondation de la Mer recommande de miser sur le recyclage de 100% des produits industriels, afin qu'à l'horizon 2030, pas un gramme de terre ou de métal rare ne soit pas recyclé**. Et cela ne sera pas plus onéreux que de développer les technologies pour forer à plus de 1000 mètres de profondeur, et à des distances de milliers de kilomètres de la terre ferme. L'alternative à l'extraction passe aussi par un travail sur la durabilité et la réparabilité des objets dès leur conception pour faciliter le recyclage des métaux en fin de vie.

La **réduction de l'intensité en terres et métaux rares des produits manufacturés** est essentielle, et faisable. La recherche industrielle devra porter sur une moindre utilisation de ces matériaux pour une efficacité identique, qui permettra en outre de réduire les coûts dans un contexte de hausse spectaculaire des cours des matières premières. A titre d'exemple, en dix ans, la part d'argent et de silicone des panneaux solaires a baissé de 40 à 50%, et leurs coûts de façon proportionnelle. Cet effort de R&D, appliqué aux terres et métaux rares, permettra à la France de maîtriser ses ressources, de s'extraire de la dépendance à la Chine ou d'autres pays, et surtout d'engager véritablement la transition industrielle qui ne consiste pas uniquement à émettre moins de CO_2.

Explorer, c'est mieux connaître les grands fonds et donc mieux les protéger.

Afin d'assumer une responsabilité éthique à l'égard des générations futures, la Fondation de la Mer recommande par ailleurs la mise en place de **sanctuaires des profondeurs**, des zones protégées reliées entre elles par des "passerelles" biologiques sous-marines.

Protéger les grands fonds marins revient alors à éviter plusieurs risques : le risque de libérer le carbone stocké dans les profondeurs, d'éroder un peu plus la biodiversité

marine, de détruire des ressources utiles à la santé humaine. C'est aussi maîtriser nos ressources en les recyclant à terre. Dans les années 1980, l'Antarctique échappait à l'exploitation minière grâce à un moratoire. Faire de même dans les grands fonds marins, c'est nous rendre service.

Alors que James Webb évolue à 1,5 million de kilomètres de la Terre pour débusquer des traces de vie, ne nous engageons pas dans des aventures hasardeuses qui mettront encore plus en danger celle du fond des océans.



«Beroe cucumis», Cténophore, au large de la base Dumont d'Urville, Terre Adélie, Antarctique.
© CNRS Photothèque – AMICE Erwan

RETROUVEZ AUSSI LE CESM À TRAVERS :

Centre de réflexion stratégique, le CESM diffuse plusieurs publications régulières sur la stratégie navale et les principaux enjeux maritimes.

Études marines
Chaque semestre, des regards croisés sur un sujet maritime, de géopolitique, d'économie, d'histoire...

Brèves marines
Diffusée par mail, cette publication offre chaque mois un point de vue à la fois concis et argumenté sur une thématique maritime d'actualité.

Les amers du CESM
Cette revue de veille bihebdomadaire, également diffusée par mail, compile les dernières actualités concernant le domaine naval et maritime.

La passerelle
À travers ce webinaire, découvrez les missions et les opérations de la Marine nationale en interagissant avec les femmes et les hommes qui la composent.

Echo
Deux fois par mois, le CESM reçoit dans ce podcast un invité qui partage ses connaissances et son expertise sur un sujet de stratégie maritime.

Périscope
Chaque mois ce podcast permet de croiser les regards de différents experts sur une thématique liée aux enjeux navals et maritimes.







Ces publications sont disponibles en ligne à l'adresse suivante :
defense.gouv.fr/cesm

Vous pouvez également vous abonner sur simple demande à :
cesm.editions.fct@intradef.gouv.fr

LA REVUE *ÉTUDES MARINES*

Les numéros publiés :

N°1- *L'action de l'État en mer et la sécurité des espaces maritimes. La place de l'autorité judiciaire.* Octobre 2011

N°2- *Planète Mer. Les richesses des océans.* Juillet 2012

N°3- *Mer agitée. La maritimisation des tensions régionales.* Janvier 2013

N°4- *L'histoire d'une révolution. La Marine depuis 1870.* Mars 2013

N°5- *La Terre est bleue.* Novembre 2013

N°6- *Les larmes de nos souverains. La pensée stratégique navale française.* Mai 2014

N°7- *Union européenne : le défi maritime.* Décembre 2014

N°8- *Abysses.* Juin 2015

N°9- *Outre-mer.* Décembre 2015

N°10- *Marines d'ailleurs.* Juin 2016

Hors série- *Ambition navale au XXI[e] siècle.* Octobre 2016

N°11- *Littoral.* Décembre 2016

Hors série- *La mer dans l'Histoire.* Mars 2017

N°12- *Ruptures*. Juin 2017

N°13- *Marins.* Décembre 2017

N°14- *Liberté.* Juin 2018

Hors série- *La Marine dans la Grande Guerre.* Novembre 2018

N°15- *Nourrir.* Janvier 2019

N°16- *Énergies.* Juin 2019

N°17- *Stratégie.* Janvier 2020

N°18- *Enjeux climatiques.* Juin 2020

N°19- *Les détroits de l'océan Indien.* Mai 2021

N° 20- *Air et Mer.* Novembre 2021

Hors série- *La Marine nationale au service des français.* Mars 2022

N°21 - *Europe, coopération pour une ambition navale.* Juin 2022

ISSN 2119-775X

Dépôt légal Octobre 2022
Achevé d'imprimé au 4e trimestre 2022
Impression Sipap-oudin, Poitiers
Réalisation CESM- Aspirant Dubuc Julia

FONDS MARINS

Inconnus, les fonds marins n'ont vu se déployer des siècles durant que le seul imaginaire des hommes qui les parsemerent de paradis, d'enfers et de créatures mythologiques. C'est aujourd'hui ce qui change : champs d'exploration, ils font aussi l'objet d'exploitation et sont de plus en plus un théâtre d'affrontements. Inconnus hier, ils seront à n'en pas douter un des enjeux majeurs de notre monde.



N°22 – Octobre 2022
Centre d'études stratégiques de la Marine

